Der Mechanismus

der

halbmondförmigen Herzklappen.

Von

Dr. Julius Ceradini.

Mit einer lithographirten Tafel.

Leipzig

Verlag von S. Hirzel.

1872.

I. CAPITEL.

Kritisch-historische Uebersicht.

Die halbmondförmigen Klappen haben so offenbar die Function die Ostia arteriosa zu schliessen, an denen sie sich befinden, und sich lediglich von dem von den Herzkammern nach den Arterienstämmen gehenden Blutstrome öffnen zu lassen, dass der einfache Begriff einer Systole und einer Diastole des Herzens, dessen Bewegungen bekanntlich dem Wesen nach schon in ziemlich früher Zeit erkannt worden sind, genügend erschien um die Thätigkeit der Klappen erkennen zu lassen. Daher kommt es, dass seit GALEN das Studium des Mechanismus derselben keinen wesentlichen Fortschritt erfahren hat, wie es der Umstand beweist, dass heutzutage noch ebenso wie vor der Entdeckung des Blutkreislaufes die Meinung besteht, dass ein Zurückfliessen des Blutes von den Arterien nach der Kammer, welches im ersten Moment ihrer Erschlaffung stattfinde, die Ursache von der Schliessung der Klappen sei, »nam obstaculum ne quid penitus regurgitaret effingere fuit impossibile«, wie VESALIUS sagt [1].

Dem Anschein nach genauere Untersuchungen über diesen Mechanismus wurden durch den Streit über eine Theorie hervorgerufen, mit welcher sich seit Anfang des vorigen Jahrhunderts Anatomen und Physiologen beschäftigen mussten, und welche sie in zwei sich gegenüberstehende Parteien theilte. Dieser Theorie zufolge sollten die Semilunarklappen beim Eintritt der Systole gegen die Wände von den Valsalva'schen Sinus der Aorta und der Pulmonalarterie gedrängt werden und in der

ersteren die Mündungen der Coronararterien bedecken, um während der ganzen Dauer der Systole den Zufluss des Blutes zu den eigenen Gefässen des Herzens zu verhindern, so dass dieser nur während der Erschlaffung der Herzkammer stattfände, welche durch die plötzliche Ausstreckung der eigenen Gefässe bei der Diastole unterstützt würde.

HALLER, der über den Ursprung dieses Vorurtheiles handelt, citirt eine in Sinigallia 1689 erschienene und im Diario parmense desselben Jahres abgedruckte Schrift, in welcher Jo. BAPT. SCARAMUCCI die Hypothese aufgestellt hat, »sanguinem diastoles quidem tempore in arterias coronarias impelli, ibi vero »effervescendo aut quacumque alia ratione contractionem ciere; a »contracto vero corde exprimi«, eine Ansicht, welche ebenso von FANTONI und FRACASSINO vertheidigt und zum ersten Mal von STROEM ausführlicher besprochen worden ist. Es sei uns gestattet die Worte HALLER's anzuführen: »Sub initio novi saeculi »CHRISTIANUS STROEM Nova theoria mot. recipr. machinae anima-»lis. Amstelodami 1707. Prop. V. ex anatome similem aliquan-»tum hujus phaenomeni solutionem hausit. Ita nempe valvulas »aortae disponi credit ut a sanguine claudantur, quem ventricu-»lus sinister expellit atque arterias coronarias sanguinem suum »non a cordis contracti vi, sed ab aorta subsidente accipere. »Antagonismum porro ponit spiritus inter et sanguinem, ut cor-»dis fibrae a sanguine arterias coronarias subeunte extendantur, »ad laxitatem cogantur: ita a sanguine diastolen fieri. Sed cor »in ea laxitate sibi relictum a spiritibus iterum in contractionem »cieri, sanguinemque suum in aortam expellere: eum ab ostiis »arteriarum coronariarum valvularum munimine defensis averti, »ne contractionem impediat. Ita, evacuato corde, valvulas iterum »laxari et a contracta aorta sanguinem in arterias coronarias »impelli: tunc fibras contractas cordis extendi, et diastolen priori »similem sequi« [2]. Dieser Auffassung haben sich dann THEBESIUS, VIEUSSENS, BOERHAAVE, LIEUTAUD, GIERING und BOURGELAT, »neque »pauci neque — contemnendi viri«, wie HALLER sagt, angeschlossen; und es ist daher sonderbar dass dieser Autor dann VIEUSSENS die Priorität dieser Theorie zuspricht.

Uebrigens sah VIEUSSENS, der erst einige Jahre nach THEBESIUS

die systolische Schliessung der Coronararterien durch die Semilunarklappen vertheidigte, hierin keineswegs eine Erleichterung der Systole oder der Diastole des Herzens, sondern er wendete diese Theorie nur dazu an um eine bei dem damaligen Standpunkte der Wissenschaft erklärliche falsche Hypothese zu begründen, dass nämlich das Blut aus irgend einer andern Arterie in derselben Zeit durch die Venen zum rechten Atrium gelange, wie aus den Coronarien, obwohl der Weg durch diese letzteren viel kürzer als jener ist, welchen das Blut aus irgend einer der übrigen Arterien bis zum rechten Herzen zurückzulegen hat. VIEUSSENS drückt sich in folgender Weise aus: «Pour »faire voir la verité de ce que je viens d'avancer, je ferai »remarquer d'abord un fait, qui paroitra tout nouveau, à mon »avis. On a cru jusqu'ici, que lorsque l'aorte se dilate, tou»tes ses branches se dilatent, sans exception d'aucune; mais »on s'est trompé; car il est constant que bien loin que les artères »coronaires du coeur se dilatent avec elle et ses autres rameaux, »au contraire elles se contractent. En voici une raison mécanique »incontestable. Toutes les fois que le ventricule gauche pousse »du sang dans le tronc de l'aorte, ses valvules semilunaires s'ou»vrent, et en s'ouvrant elles se couchent sur les embouchures »des artères, dont je viens de parler et les ferment.......Lorsque »le tronc de l'aorte se contracte, le sang, qu'il contient, étant »comprimé avec beaucoup de force, fait effort de passer dans ses »premières branches, sans être obligé de se réfléchir vers la »source d'où il est parti, dans laquelle il ne sauroit rentrer, »parce qu'en se réfléchissant, il relève et ferme les valvules »semilunaires de l'aorte, qui l'en empêchent; mais aussi en rele»vant ces valvules, il ôte les voiles, qui venoient de boucher les »ouvertures des artères propres du coeur, et s'insinue dans leurs »cavités pour les dilater; de sorte qu'au même moment que »l'aorte et ses autres rameaux se contractent, ceux-ci se dila»tent» (3).

In Uebereinstimmung mit BARON (4) und mit NICOLAI (5) sind wir daher der Meinung, dass die Hypothese von der systolischen Schliessung der Ostia coronaria vielmehr nach THEBESIUS zu benennen sei, welcher sie erst zu begründen suchte

und ihr eine grössere Verbreitung gab. THEBESIUS glaubte in der That nicht nur dass das Einströmen des Blutes in die Kranzschlagadern die Diastole des Herzens begünstige, sondern auch dass durch diesen Mechanismus der übermässigen Spannung der Semilunarklappen vorgebeugt werde, die sonst beim Eintritt der Diastole durch den plötzlichen Andrang der ganzen aus der Kammer herausgetriebenen Blutsäule gegen sie hervorgerufen werden würde. Aber hören wir ihn selbst: »Secundum ea »autem, quae supra dixi, arteriae coronariae ortum ducunt ex »aorta vix e sinistro thalamo egressa, sub ipsis valvulis sigmoi-»deis; quae in systole cordis a sanguine in aortam irruente late-»ribus, tanquam vela expansa, debent applicari, sanguinique »necessario in vasa haec praecludere introitum. Quamvis non »negare ausim pauxillum illud sanguinis, quod forte inter pelli-»culas has et arteriarum orificia haesit, partim in aortam, partim »in arterias has illo tempore intrudi; quod tamen neutiquam ad »implendos arteriarum canales sufficere potest; hinc necessarium »est ut in cordis diastole et arteriae magnae systole sanguis haec »vasa demum sufficienti copia subeat. Quo pacto, sequitur arte-»rias expandi dum reliquum systema arteriosum in systole est »constitutum; id quod num aliquid ad ipsam cordis diastolem »faciat, ut ingeniose scripsit D. STROEM, cum extra institutum sit, »jam non disquiram....... Hujus mechanismi duplex esse videtur »ratio; primo enim periculum erat quod valvulae sigmoideae in »violenta aortae contractione a sanguine repercusso disrumperen-»tur, nisi in patentes arterias coronarias divertere posset, adeo-»que in impetu suo imminueretur; deinde non poterat aliter »arteriosus sanguis in vasa cordis impelli, nisi in ejus diastole; »quoniam in systole fibrarum contractio tam vehemens est, ut »potius omnis sanguis ex vasis arteriosis aeque ac venosis expri-»matur« (6).

Die Theorie von THEBESIUS — welcher BRÜCKE nachträglich einen Namen gegeben hat, durch die Bezeichnung **Selbststeuerung des Herzens**, — machte also darauf Anspruch sich ebensowohl auf eine anatomische Grundlage zu stützen, nämlich auf den Ursprung der Kranzschlagadern aus den Valsalva'schen Sinus an einem Punkte, welcher von den sich gerade

an die Wände des Sinus anlegenden Halbmondklappen bedeckt werden sollte — als auf eine physiologische, nämlich auf das Zusammendrücken der Herzgefässe während der Zusammenziehung des Herzens. Die ersten Beobachtungen, die dieser Annahme widersprachen, betreffen ihre anatomische Begründung und rühren von Lancisi her: »Tam sibi varia atque »inconstans est natura in collocandis ostiolis arteriarum coro- »nariarum, ut qui pauca licet humana praesertim cadavera »secuerit, varietatem tamen multam hac in re potuerit animad- »vertere. Nos quidem, qui ad comparandam anatomicam »suppellectilem scribendis nostris hisce libris necessariam, »innumera plane aperuimus, frequentissimam diversitatem »offendimus.« Lancisi schloss aber nicht die Möglichkeit aus, dass die Coronarmündungen von den Semilunarklappen bedeckt werden könnten allemal wenn sie tief in den Sinus lägen, und zwar nimmt er dies als feststehende Thatsache an bei den schwächeren Thierarten, während er versichert bei den kräftigeren Thierarten und besonders bei den wilden stets das Gegentheil beobachtet zu haben: »Aperto thorace scissoque pericardio »in molossis, qui coronariarum orificia super valvularum margi- »nes gestant, vidimus coronariam arteriam pulsare eodem tem- »pore cum aorta; ita ut simul utraque amplietur et constringatur; »similiterque vulneratas sanguinem eodem alterno tempore majori »cum vi et saltu effundere vicissimque remittere. In pecudibus »vero, quae coronariarum immissaria sub valvulis locata habent, »spectavimus aortam nonnihil coronali prius diastolem incipere, »sed simul utramque absolvere« [7].

Dieser letzte Satz von Lancisi bezieht sich, wie jeder sieht, auf die Möglichkeit, dass vermöge des Zurückströmens des Blutes, welches durch die Compression der tiefliegenden Herzgefässe hervorgerufen wird, die Stämme der Coronararterien während der Systole pulsiren, sogar in jenen Fällen, in welchen man annehmen müsste, dass ihre Mündungen von den emporgehobenen Semilunarklappen bedeckt werden; und Morgagni, welcher wenige Jahre vorher, obwohl ohne seine eigene Ansicht ausdrücklich auszusprechen, sich gewissermassen der Vermuthung von Thebesius's angeschlossen hatte, nimmt im XV. von den

XVIII Briefen, welche der von ihm besorgten Ausgabe der Werke von Valsalva [^] beigegeben sind, von eben jenen Worten Lancisi's Veranlassung zu zeigen, dass eben so wenig Wahrscheinlichkeit für eine systolische Schliessung der Kranzarterienmündungen vorhanden sei, als für eine gleichzeitige Compression der Herzgefässe: »Nam si alterna in iis quoque arteriosis »ramis esse debet, ab ipsoque Lancisi conspecta est, dilatatio »ac constrictio: profecto si agnoscit, laxato per diastolem corde, »repulsum ac reverberatum ab aorta sanguinem urgere illum, qui »est intra majores coronarias, non videtur simul docere posse »sanguinem etiam a cordis systole in majores coronarias impelli. »Alterutro enim tempore hae constringantur necesse est; quo vero »tempore constringantur, quomodo novum admittant sanguinem, »haud apparet.« Morgagni war ausserdem der erste, welcher die Aufmerksamkeit der Physiologen darauf lenkte, dass in den beiden Herzabtheilungen die Zustände der Zusammenziehung und der Erschlaffung derartig folgen und miteinander abwechseln, dass in der einen Abtheilung immer der entgegengesetzte stattfindet als in der anderen, und welcher hervorhob, dass, wenn die systolische Schliessung der Ostia coronaria den Mechanismus der Kammern unterstütze, sie aus demselben Grunde demjenigen der Vorhöfe hinderlich sein müsse: »Nam cum eo temporis vestigio, quo cor se contrahit, negemus posse ejus arterias dilatari; »proximo vicissim puncto, quo auriculae sese constringunt, »quomodo harum posse dilatari arterias affirmabimus?..... Num »alio tempore credendum est eos coronarios ramos, qui ad auriculas pertinent, alio qui ad cor, dilatari? At ab iisdem proveniunt truncis, et ab iisdem orificiis incipientibus.«

Um diese Zweifel zu lösen nahm Morgagni seine Zuflucht zur anatomischen Untersuchung. Von 39 menschlichen Herzen, darunter 10, welche weiblichen Leichen angehörten, fand er in 16 (8 männlichen und 8 weiblichen) beide Coronarmündungen oberhalb des freien Klappenrandes liegend; 6 zeigten sie tief in den Valsalva'schen Sinus gelegen, und in den 7 übrigen (darunter 2 weiblichen) konnte die eine der Mündungen bedeckt werden, während die andere viel höher liegende für die entsprechenden Semilunarklappen gar nicht erreichbar war. Dieser letztere Fall

wurde von ihm auch bei einigen Hunden, einem Schafe und ebenso im Leichnam von zwei sehr kräftigen jungen Männern beobachtet, bei denen der Tod in Folge einer Verwundung plötzlich eingetreten war. Dies war der Grund wesshalb er die Vermuthung aussprach, dass der Zweck der Valsalva'schen Sinus nicht darin bestände den Blutzufluss in die eigenen Gefässe des Herzens während der Systole zu verhindern, sondern vielmehr denselben zu begünstigen, »sive quia dum valvulae contra »parietes urgentur arteriae magnae, tanto plus sanguinis in illas »compellunt, quanto plus sanguinis inter ipsas valvulas eosque »ita sinuatos parietes comprehenditur, sive quod eo tempore, vel »semper, vel paulisper inter summum valvularum limbum et »supremam sinuum caveam aliquid spatii fortasse restitet, per »quod extrusus e corde sanguis eum in sinus illasque arterias »aditum habeat, quem, si aortae parietes sic curvati extrorsum »non essent, minime haberet; quippe quia vix ulla tum oriri »suspicio posset, quin valvulae a praeterfluente sanguine impulsae »ad eos parietes sese penitus et continuo applicarent.«

Senac gab zwar zu, dass während der Systole der Blutstrom in den kleineren und tieferen Herzgefässen erschwert werden könnte; er bemerkte aber dabei, dass oft, wenn die eine der Coronarmündungen unterhalb des Randes der entsprechenden Semilunarklappe liegt, die andere sich höher oben befindet und manchmal selbst über den Valsalva'schen Sinus. Er leugnete ferner dass selbst im ersten Falle die Mündung durch die an die Sinuswand sich anlegende Klappe bedeckt werden könnte. »Enfin, ce qui répond à toutes les difficultés, les valvules pous»sées par le sang doivent s'enfoncer dans le sinus, s'appliquer à »toute la surface inférieure de ces niches, et former avec elles »une cavité, qu'elles tapissent. Or en la formant ou en s'enfon»çant, les bordes de ces digues doivent s'abaisser; ils ne doivent »donc plus atteindre jusqu'aux orifices des artères coronaires.« Ebenso wie Lancisi beobachtete auch er, dass die Grösse der Parabel, welche der aus der angestochenen Coronaria hervorspringende Blutstrahl beschreibt, in synchronischem Verhältniss zur Systole des Herzens wächst (*).

Mit diesen Beobachtungen von Lancisi und Senac stimmen

die von SANTORINI und von ALBRECHT, welche HALLER und MORGAGNI citiren, überein und ebenso die viel zahlreicheren von HALLER selbst, welchem sich ebenfalls die Lage der Kranzschlagadermündungen unterhalb des freien Klappenrandes als eine sehr selten vorkommende ergab: »Nobis saepius supra valvulas; »nuper in homine phtisico ad ipsam oram oriri sunt visae, ita »tamen ut a valvulis tegi possent« ([10]). — »Arteriarum coronariarum originem ex quinque et ultra observationum consensu semper supra valvulas arteriae magnae vidimus, ut non possimus »hic tueri elegantem theoriam Vieussenii....... Atque videtur ad »excludendum sanguinem sufficere in corde ea, quae in omni »musculo sufficit; tumida fibrarum carnearum durities, a qua »sanguis in arteriis receptus expellitur, adventans excluditur« ([11]).

Und da aus dieser Stelle hervorzugehen scheint dass HALLER in jener Zeit sich noch nicht von dem Vorurtheile seines Lehrers BOERHAAVE freigemacht hatte, dass nämlich während der Systole die Kammer das Bestreben zeige das in ihrem eigenen Fleisch enthaltene Blut hinauszutreiben, so wird es um so interessanter genauer zu verfolgen, wie sich bei ihm die Ansicht von der Unrichtigkeit der THEBESIUS'schen Theorie entwickelt hat. So finden wir in der Physiologie von HALLER: »Ill. Praeceptor coronariarum »arteriarum quidem ostia ejusmodi fecit ut a valvulis tegi possint; »sed ostensum est tegi non posse, neque cor in systole sua »sanguinem de propriis carnibus exprimere.« Und in dieser Meinung bestärkte ihn die Beobachtung von LANCISI, welche er zu wiederholten Malen bestätigt fand: »Deinde »si in vivo animale salientes arterias accurate contemplatus »fueris, manifesto videbis, omnes una et paribus temporibus »aortam atque carotidem, in exemplo, et coronarias salire. »Denique si in spirante bestia arteriam aliquam cordis lanceola »percusseris, iterum absque ullo dubio videbis, ut ego saepe »vidi, aliique ante me Ill. viri, altius et cum impetu sanguinem de eo vulnere subsilire quando cor contrahitur, »molliter vero delabi, quoties cor se remisit et aorta nunc »arctatur.«

Nicht weniger entschieden trat HALLER der Theorie von einem Einsaugen des Herzens oder von einer activen Diastole

entgegen, welche man aus dem plötzlichen Eindringen des Blutes in das Herzfleisch beim Aufhoren seiner Zusammenziehung erklärte, und welche manche, unter ihnen auch THEBESIUS, durch das Factum bestatigt zu finden glaubten, dass das Herz einiger Thierarten (Fische, Frösche, Eidechsen, Schildkröten, Schlangen), während der Diastole roth wird, und während der Systole diese Röthe wieder verliert. Heutzutage ist freilich vollständig bewiesen, dass diese Erscheinung ausschliesslich von der Transparenz der Kammerwände bei kaltblütigen Thieren herrührt (12).

HALLER'S Zeitgenosse HAMBERGER gab zwar zu, dass die Mündungen der Coronararterien manchmal sich tief in den Valsalva'schen Sinus befanden, leugnete aber dass sie je von den Halbmondklappen bedeckt werden könnten, welchen er Muskelfasern beilegte, die fahig wären sich während der Kammersystole zusammenzuziehen und so das Anschlagen der Klappen gegen die Sinuswände zu verhindern (13). Er glaubte namlich, dass diese Klappen beim Beginn der Systole die Lage der Sehne zum Aortenlumen annahmen und während der ganzen Dauer derselben behielten, so dass ihre freien Rander das im Ostium arteriosum eingeschriebene Dreieck bildeten; und er meinte es wirke bei diesem Mechanismus der Umstand mit, dass sich das Druckgleichgewicht zwischen dem aus den Kammern ausströmenden und dem in den Sinus beim Beginn der Systole comprimirten Blute herstelle: »Nec a sanguine e corde erumpente »valvulae semilunares parietibus arteriarum adplicari proxime »possunt; cum enim arteria semper sit repleta sanguine admo»dum presso, valvulae semilunares alia celeritate non cedunt, »quam qua sanguis cedit arteriosus.... Valvulae ista temporis »systoles cordis parte tantum premuntur a sanguine arterioso »versus centrum arteriae, quantum a sanguine ex corde erum»pente premuntur versus parietes arteriarum, ergo non moven»tur, sed in situ parietibus arteriarum parallelo quiescunt» (14).

HAMBERGER'S Hypothese, auf welche wir später zurückkommen werden, und die Thatsachen, dass die Kranzschlagadern stets synchronisch mit den benachbarten Arterien pulsiren und dass die entgegengesetzten Zustande von Zusammenziehung und Erschlaffung in den beiden Herzmuskeln sich folgen und mit-

einander abwechseln, erschienen den Physiologen nicht als genügend um die Frage zu lösen. Bei der Widerlegung der Theorie von Thebesius glaubte man vorzüglich auf anatomischem Wege vorgehen zu müssen; und bei der Untersuchung des menschlichen Leichnams durch Sommerring (15), Legallois (16), Meckel (17), Choulant (18), Lauth (19), Cruveilhier (20) und neuerdings durch Joseph (21) stellte sich heraus, dass die Mündungen der Coronararterien nicht von den geöffneten Halbmondklappen bedeckt werden, weil jene in dem oberen Theil der Valsalva'schen Sinus, oberhalb des freien Klappenrandes, sich befinden. Man muss jedoch glauben dass andere Anatomen das Gegentheil beobachtet haben, weil die Frage auch zu jener Zeit noch nicht entschieden schien. Hamberger hatte in der That es vollständig unterlassen die aufgestellten Behauptungen auf dem Wege des Versuchs zu constatiren; und was die von Morgagni gegen Thebesius und Lancisi beigebrachten Gründe betrifft, so fehlte es weder an Autoren, welche die Annahme einer gleichzeitigen Systole in beiden Herzabtheilungen und einer gleichzeitigen Diastole vertheidigten, noch an solchen, welche die Selbststeuerung für weniger nothwendig für die Vorhöfe als für die Ventrikel hielten, oder welche sich Mühe gaben mit Scheingründen das systolische Pulsiren der Kranzarterien sowohl mit dem der Systole der Kammern entsprechenden Zurückströmen des Blutes als mit seinem diastolischen Zufluss zu denselben in Zusammenhang zu bringen.

Kleefeld erhielt Kenntniss von dieser Frage durch Marshall Hall, welcher in seinen Vorlesungen (22) ebenfalls die Behauptung aufstellte, »der Kreislauf in den Kranzgefässen hat das »Eigenthümliche, dass die Arteria coronaria unter allen Arterien »des menschlichen Körpers die einzige ist, welche nicht während »der Systole, sondern während der Diastole des linken Ventrikels »ihr Blut erhält.« Auch Kleefeld (23) fand aber, dass nicht selten die Mündungen der Kranzschlagadern zu entfernt von der der Aorta sind, als dass sie von den Halbmondklappen bedeckt werden könnten: und eine sorgfältig ausgeführte Vivisection überzeugte ihn ausserdem, dass entgegengesetzt der Voraussetzung von Lancisi die Coronararterien während der Systole der Kammern

auch dann pulsirten, wenn ihre Mündungen so tief in den Valsalva'schen Sinus lagen, dass die anatomische Möglichkeit für ihre vollständige Bedeckung durch die Klappen vorhanden wäre. Sein Versuch wurde an einem Hunde von mässiger Grösse ausgeführt, bei dem nach Injection einer halben Drachme Opium durch die Jugularvene und darauf eingetretener Narkosis die künstliche Athmung eingeleitet und der Brustkasten geöffnet worden war. Nachdem eine der Kranzarterien angestochen war, floss das Blut zehn Minuten lang in ununterbrochenem Strahl heraus, welcher sich während der Systole verlängerte. Als das Thier todt war, zeigte die Aorta völlig normale Klappen, welche mit einer Pincette bei den Noduli Arantii gefasst sich sehr leicht auf die Oeffnungen der Coronararterien ziehen liessen. KLEEFELD schien nun die Thatsache entscheidend zu sein, dass während langer Zeit der Blutstrahl ohne Unterbrechung fortdauerte; denn was die systolische Verlängerung des Blutstrahles betrifft, so konnte sie nach seiner Meinung auch einfach von der Zusammenziehung der Kammerwände abhängen [21].

BRÜCKE hatte das Unglück anderthalb Jahrhunderte nach STROEM die von den Semilunarklappen bewirkte Schliessung der Ostia coronaria zu entdecken, und kam dadurch in die Lage die unselige Theorie von THEBESIUS gegen die heftigen Angriffe eines ebenso leidenschaftlichen als durch seine Arbeiten auf dem Gebiete der menschlichen und vergleichenden Anatomie bekannten Gegners vertheidigen zu müssen. Die von BRÜCKE in seiner ersten Abhandlung angeführten Gründe sind eben dieselben, welche THEBESIUS schon vorher beigebracht hatte; und es ist doch auffallend, dass auch er, ohne sich die Mühe des Beweises zu nehmen, von der Behauptung, dass die Capillaren durch die Contraction des Herzmuskels bis zum Verschwinden ihres Lumens zusammengedrückt werden [2], ausgegangen ist; während die allbekannte Thatsache, dass die Muskeln während der Zusammenziehung ihre Farbe gar nicht verlieren, ihn wenigstens darauf hätte führen sollen, jene Behauptung nicht ohne weiteres als richtig anzusehen.

Später aber ward BRÜCKE von HYRTL in die Enge getrieben, welcher sich nach zahlreicher Autopsie überzeugt hatte, dass die

Ursprünge der Kranzschlagadern in der Regel über den Sinus Valsalvae stehen, und in gleicher Weise wie Lancisi, Haller, Senac und Kleefeld von der angestochenen Arterie einen constanten Blutstrahl erhalten hatte, welcher zuletzt bei jeder Systole des Herzens sich verstärkte (26); und nun machte Brücke das Zugeständniss, »wenn man an der Leiche die vordere und »die hintere Aortenklappe gegen ihre Sinus Valsalvae anlegt, so »bedecken sie bei weitem in der Mehrzahl der Fälle den Eingang »in die Kranzarterien gar nicht, oder nur theilweise« (27): was aber sich nicht auf künstliche Weise beim Leichnam erreichen lässt, das sollte nach ihm ganz natürlicherweise beim lebenden Organismus stattfinden. »Es sind an den Leichen der Menschen »Zeichen vorhanden, welche erzählen bis zu welcher Höhe wäh- »rend des Lebens die Aortenklappen hinaufgereicht haben« (28); und diese Zeichen, fährt er fort, sind die von dem freien Klappenrand in die Wände der Aorta eingedrückten Spuren, welche der menschliche Leichnam, wie der des Schweines und selbst des Hundes (bei welchem die Coronarmündungen in Bezug auf die Klappen eine so hohe Lage haben, dass sie dem ersten Anschein nach die Möglichkeit einer Selbststeuerung des Herzens nicht zulassen), beständig an einem oberhalb des Ansatzes der Kranzarterien gelegenen Punkte der Aorta- oder der Sinuswände zeigt.

Was nun das systolische Pulsiren dieser Arterien betrifft, so gab Brücke ganz wie Thebesius zu, dass von dem ersten Eintreten der Kammersystole bis zu dem Moment, in welchem die Halbmondklappen sich an die Sinuswände angelegt haben, das Blut frei in die eigenen Gefässe des Herzens zuströme; hauptsächlich sollte aber nach ihm jene Erscheinung durch das der Zusammenziehung der Herzwände entsprechende Zurückströmen des Blutes von den tiefliegenden Aesten nach den Stämmen hin hervorgerufen werden. Er sagt: »Der Strahl, in dem das ange- »stochene Gefäss spritzt, wird sich somit während der ganzen »Systole höher und höher heben, obgleich von der Aorta gar kein »Blut mehr zufliesst« (29). Wir werden weiterhin sehen, worin das Irrthümliche dieser Hypothese besteht: wie Morgagni sehr scharfsinnig bemerkte, könnte keine andere geeigneter sein zu

beweisen, nicht sowohl dass die Annahme von Thebesius richtig ist, als vielmehr dass das Herz mit Gefässen versehen sei, die durchaus unfähig wären seine Ernährung zu vermitteln, die also einer eigentlichen Function völlig ermangelten.

Dass die Todesstarre die anatomischen Verhältnisse zwischen den Semilunarklappen und den Mündungen der Kranzarterien nicht wesentlich verändern kann, dass ferner die von Brücke als Spuren der freien Klappenränder angesehenen Vertiefungen der Aortenwände eine solche Auffassung nicht gestatten konnten, das lag indessen doch nur zu sehr auf der Hand [10]. Bei der darauf von Hyrtl an 117 Leichen vorgenommenen Untersuchung ergab sich vielmehr, dass in der bei weitem grössten Mehrzahl der Fälle die Mündungen von beiden Coronararterien oder wenigstens von einer derselben höher als der freie Rand der Klappen lag [11]. Musste nun in allen den anderen Fällen, in welchen eine oder beide Arterien tief in den Valsalva'schen Sinus entsprangen, eine totale oder theilweise Selbststeuerung des Herzens stattfinden? Hyrtl glaubte dies nicht, denn so oft er bei verschiedenen Thieren ein Stück von dem Stamme einer Kranzarterie ganz abschnitt, erhielt er beständig den systolischen Strahl von dem Centralstumpf. »Ich habe am Kaninchen, an der »Katze und am Hunde (bei letzteren nach vorläufiger Trennung »der Medulla oblongata) experimentirt und jedesmal auf das »bestimmteste gesehen und gezeigt, dass das obere Lumen, nicht »das untere, systolisch spritzt, und somit ein Verschluss der »Coronaria durch eine Aortenklappe nicht existiren kann« [12].

Auf Grund dieser Thatsachen glaubte Hyrtl, dass der Mechanismus der Semilunarklappen folgender wäre: »Am Beginn der Systole wird jede Klappe emporgedrängt. Sie braucht »eine gewisse Zeit bis ihr oberer Rand an die obere Grenze des »Sinus Valsalvae gelangt, aus welcher eine tief entspringende »Kranzarterie abgeht. Während dieser Zeit strömt das Blut frei »in die Kranzschlagadern ein, wie bei jeder anderen Arterie. »Von jenem Zeitmomente an, wo die Klappe den Sinus Valsalvae »deckt, ist letzterer in ein vom übrigen Arteriensystem abge»schlossenes blutgefülltes Cavum umgewandelt, zu welchem kein »Zugang führt, aber aus welchem an zwei Sinusen ein Ausgang

»in die betreffenden Coronar-Arterien offen steht. Da die Systole »der Kammer die Halbmondklappe nicht bloss über den Sinus »hinstreckt, sondern sie in den Sinus hineindrückt, so muss »dieses Hineindrücken der Klappe in den Sinus bei zweien der- »selben ein Entweichen des Blutes aus dem Sinusraum in die »Coronar-Arterien während der übrigen Dauer dieser Systole »unabweislich veranlassen« (33).

Diese Theorie von dem systolischen Mechanismus der Semilunarklappen, welche so wenig von der THEBESIUS'schen abweicht, wurde aber später HYRTL selbst verdächtig; er gab sie auch bald nachher ganz auf und setzte eine andere an ihre Stelle, welche sich als die treue Wiederholung der alten HAMBERGER'schen Hypothese ergiebt. HYRTL gelangte nämlich nach zahlreichen mit erstarrender Flüssigkeit ausgeführten Injectionen zu der Ueberzeugung, dass die Semilunarklappen sich gar nicht an die Valsalva'schen Sinus anlegen, sondern beim Beginn der Kammersystole die Sehnenstellung zum Aortenlumen annehmen und während ihrer Dauer in derselben verharren (34). Wir zweifeln zwar nicht, dass HYRTL in der festgewordenen Mischung von Wachs und Talg, welche er bei diesen Injectionen anwandte, die freien Klappenränder nach Art einer Sehne im Lumen der Arterie gespannt gefunden hat, — was übrigens bei Anwendung dieser Methode später auch RÜDINGER und MIERSWA beobachtet haben; — aber wir glauben keineswegs, dass durch diese Thatsache die Frage der Selbststeuerung des Herzens gelöst ist.

BURDACH, der sich zwar nicht mit dieser Frage beschäftigte, aber zuerst Injectionen mit erstarrender Masse bei der Untersuchung des Mechanismus der Halbmondklappen angewandt hat, war in der That der Meinung, dass dieselben während der Systole sich an die Wände der Valsalva'schen Sinus anlegen, obwohl er inmitten der festgewordenen Injectionsmasse das Ostium arteriosum immer von den ausgespannten Klappen geschlossen fand (35). Was nun die Resultate der HYRTL'schen Injectionen betrifft, so brauchen offenbar die Vertheidiger der systolischen Schliessung der Coronarmündungen sie gar nicht zu bestreiten; sie können vielmehr dieselbe durch die Annahme

erklären, dass die während der Systole auf gewaltsame Weise mit den Sinuswänden in Berührung gebrachten und erhaltenen Klappen durch die elastische Reaction beim Aufhören der Systole sich wieder davon entfernen, um inmitten der erst viel später erstarrenden flüssigen Masse die angegebene Lage einzunehmen.

Mit der HAMBERGER'schen Hypothese schienen aber die Resultate der Experimente übereinzustimmen, welche ENDEMANN [36] mit sieben herausgenommenen Herzen vom Hund, Kalb, Ochsen, Hammel, Pferd und Schwein angestellt hatte, und bei denen die nachher geöffneten Herzen Coronarmündungen zeigten, von welchen bald keine, bald eine einzige und bald beide von den halbmondförmigen Klappen erreicht und bedeckt werden konnten [37]. ENDEMANN durchschnitt die Aorta in der Nähe des Zwerchfelles, wobei er alle Zweige unterband mit Ausnahme einer Coronaria, in welche er ein Manometer eingeführt hatte, und der Arteria anonyma; er stellte dann vermittelst einer Glasröhre eine directe Verbindung zwischen dem Aortenstumpf und dem linken Vorhof durch eine der Pulmonalvenen her, indem er die übrigen unterband: und nachdem das Ganze durch die A. anonyma mit Wasser angefüllt und dann auch diese unterbunden war, ahmte er die Systole durch Zusammendrücken des Herzens nach: und er fand hierbei dass das Niveau des Wassers im Manometer während der ganzen Dauer dieses Druckes beständig stieg. Es war aber nicht allein die Dauer dieser künstlichen Systole unbekannt, — während auch die Vertheidiger der Selbststeuerung des Herzens zugeben, dass, wenn man langsam eine Flüssigkeit aus der Kammer in die Aorta injicirt, die Klappen sich nicht an die Sinuswände anlegen, — sondern ebenso auch der Druck, welchen das Wasser durch die Systole erhielt, d. h. der Grad der Ausdehnung des Ostium arteriosum und der Aortenwände; und desshalb blieben diese Untersuchungen von sehr zweifelhaftem Werthe, abgesehen davon, dass ENDEMANN, indem er beim lebenden Thiere ein Stück einer Kranzschlagader nach HYRTL's Methode herausschnitt, gleiche Resultate erhielt wie HYRTL: »Das Spritzen kam aus dem »oberen Ende, aber bei sehr aufgeregter Herzthätigkeit in einem »fast continuirlichen Strom.«

Wittich (38) untersuchte die anatomischen Verhältnisse zwischen Semilunarklappen und Ostia coronaria nicht nur bei einer grossen Zahl von menschlichen Leichnamen, sondern auch an den Herzen von Säugethieren und Vögeln verschiedener Ordnungen und Gattungen, die im zootomischen Museum des Prof. Rathke in Königsberg aufbewahrt werden; und noch exclusiver als selbst Brücke behauptet er nie eine Coronarmündung gefunden zu haben, welche nicht von der entsprechenden Klappe hätte bedeckt werden können. Was aber noch merkwürdiger ist, in allen Injectionen der Aorta, welche er nach der Methode von Hyrtl durch eine der Pulmonalvenen machte, wobei die anderen unterbunden waren, sah er niemals einen Tropfen Flüssigkeit in die Kranzarterien eindringen so lange als in der Spritze, deren er sich bei der Injection bediente, unter hohem oder niedrigem Drucke die Vorwärtsbewegung des Kolbens dauerte; nur wenn er plötzlich die Injection unterbrach, entweder durch Compression der Aorta oder durch plötzliches Anhalten des stossweise vorwärts bewegten Kolbens, sah er die Flüssigkeit aus der Aorta in die Kranzarterien eintreten und dieselben erfüllen.

Wittich wiederholte übrigens, um den Beweis für die Selbststeuerung besser führen zu können, die von Endemann am herausgenommenen Herzen angestellten Versuche, indem er dabei aber eine andere Methode anwandte. Er unterband bei allen untersuchten Herzen die Aorta descendens vor dem Abgange der obersten Thoracicae; hierauf wurde bei den Thieren, bei denen alle grossen Hals- und Armarterien nur mit einem gemeinsamen Stamm aus dem Aortenbogen entspringen, was z. B. beim Schwein der Fall ist, eine Glasröhre in diesen eingebunden; bei anderen dagegen alle Gefässe bis auf eine Carotis unterbunden, und mit dieser in derselben Art verfahren. Die Glasröhre nahm dabei eine senkrechte Stellung ein, oberhalb des mit der Spitze nach unten gerichteten Herzens. Das Wasser strömte durch eine der Pulmonalvenen ein, welche vermittelst eines Gummischlauches mit einem Behälter verbunden war, und floss durch die Glasröhre ab, in welcher die Säule eine verschiedene bis zum Maximum von $2^{m},50$ steigende Höhe erreichte,

so dass also in der Aorta ein Druck hervorgerufen wurde, der wenig geringer war als der, welcher im Leben mit Hülfe eines mit dem Centralstumpfe der Carotis verbundenen Manometers erkannt werden kann. Eine im Knie gebogene Glasröhre wurde in den Stamm der Kranzarterie oder in einen der Zweige eingeführt, wobei dann der andere unterbunden war. Wittich fand in allen Fällen, dass, wenn er den Wasserstrom durch den so eingerichteten Apparat leitete, das Wasser gar nicht oder nur tropfenweise aus der Coronaria ausfloss; dass es dagegen in continuirlichem Strahle hervorspritzte, sobald der Aortenstamm oberhalb der Klappen oder der Abflussschlauch comprimirt wurde, denn es macht sich dann, wie er sagt, auch die Elasticität der Aorta geltend, und treibt, indem sie ganz entsprechend dem Vorgange im Leben die Semilunarklappen entfaltet, einen Theil der über ihnen stehenden Flüssigkeit in die Coronaria.

Aber diese Erklärung der Erscheinung ist offenbar falsch; denn da in dem Augenblick, in welchem der Strom durch die Compression der Aorta unterbrochen wird, der Druck in dieser letzteren jenem, welcher die Wände des Atriums und der Herzkammer ausdehnt, das Gleichgewicht hält, so ist es klar, dass jene Semilunarklappe, welche die Coronarmündung schliessen soll, sich nicht in Folge eines Zurückströmens würde davon entfernen können. Wenn wir aber auch die Art und Weise, auf welche Wittich die von ihm beobachtete Thatsache zu erklären versucht, nicht für die richtige halten können, so wollen wir damit doch keineswegs die Wahrheit dieser Thatsachen selbst bestreiten, um so weniger als Ludwig, welcher in ähnlicher Weise am Herzen des Schweines Versuche anstellte, nur wenig abweichende Resultate erhielt.

Ludwig [illegible] hatte aber zu constatiren, dass der Versuch in der von Wittich angegebenen Weise meist nicht gelingt, wenn die Aorta nicht am Bogen sondern kürzer abgeschnitten wird, und dass er ausserdem zuweilen an einem Herzen versagt, an dem er so eben noch gelungen war, und an dem er sich dann auch später wieder erfolgreich herstellen lässt, während andere Male der Strahl aus der Kranzarterie nicht sogleich am Beginn der Systole, sondern merklich später unterbrochen wird.

Auf eine der WITTICH'schen Methode analoge Weise, aber mit gerade entgegengesetzten Resultaten stellten dann auch RÜDINGER und BUDGE ihre Versuche an. RÜDINGER führte eine Röhre in eine der Pulmonalvenen ein und unterband die übrigen; das letztere geschah auch mit dem Ende der Aorta, welche unmittelbar über der Stelle abgeschnitten war, wo sie in die Arteriae iliacae übergeht, und ebenso mit allen Arterien, welche von der Aorta sich abzweigen, mit Ausnahme der Coronarien und einer Intercostalis. Dann stach er diese drei letzteren an und injicirte durch die Röhre den ganzen Apparat mit Wasser, bis die ausgedehnten Wände der Aorta für einige Zeit einen Strahl von den beiden Coronarien und von der Intercostalis erhalten konnten: »Uebt man nun«, sagt RÜDINGER, »einen Druck auf den Stempel »aus, so entsteht ein der Grösse und der Länge des Druckes entsprechendes gleichzeitiges Steigen des Strahles sowohl in der »Kranzarterie wie in der Intercostalis. Der Strahl wird geringer sobald der Druck nachlässt, dauert aber bei vollkommenem Aufhören »desselben immer noch fort..... Uebt man bei noch hinlänglich »starker Füllung einen Druck auf die linke Kammer aus, so wird »in beiden Gefässen der Strahl im Moment gleichmässig stärker; »drückt man auf die Aortenwand, so geschieht dasselbe« (10).

Gestützt auf die Resultate sowohl dieser als auch anderer von uns später zu erwähnender Versuche, durch welche er die Bewegungen der halbmondförmigen Herzklappen auf dem Wege der directen Anschauung untersuchte, weist RÜDINGER die Theorie von THEBESIUS unbedingt zurück.

BUDGE glaubt, dass wenn auch die Semilunarklappen sich an die Sinuswände anlegen, sie doch nicht dieselben vor dem Ende der Systole erreichen können, und dass desshalb während der letzteren das Blut zu den Kranzarterien strömt, welches die Sinus erfüllt (11). Er wiederholte sehr oft den Versuch WITTICH's mit dem Apparat von LUDWIG und fand in der That, dass in den bei weitem meisten Fällen das Wasser aus dem in die Coronaria eingesetzten Röhrchen ebenso in dem Augenblick hervorspritzt, in welchem die Strömung in der Aorta lebhafter ist, wie in dem Zeitpunkte, in welchem vermittelst Schliessung des Hahnes der Zufluss zum Herzen unterbrochen ist und die Wände desselben

erschlaffen, indem das überflüssige Wasser durch eine Seitenöffnung nach aussen abfliesst.

PERLS [12] endlich, welcher die Kranzarterie bei einem curarisirten und vermittelst künstlicher Respiration am Leben erhaltenen Hunde anstach, erhielt einen beständigen Blutstrahl, welcher bei jeder Systole kräftiger wurde, und, was besonders hervorzuheben ist, fortwährend von der Basis des Herzens nach der Spitze gerichtet war. Nach erfolgtem Tode des Thieres stellte er einen Wasserstrom durch das linke Herz, die Aorta und eine durchschnittene Carotis her, welcher aus einem Druckgefäss unterhalten wurde, und er machte die Beobachtung, dass während der Carotis ein reichlicher Wasserstrom entquoll, die vorher verletzte Coronaria nichtsdestoweniger unaufhörlich spritzte. Ganz besonders interessant ist aber eine andere Thatsache, welche PERLS dabei beobachtete. So oft er nämlich bei Anwendung der WITTICH'schen Methode den Strahl aus der Kranzarterie erst in dem Augenblick erhielt, in welchem er durch die Zusammenpressung der Aortenwände die Diastole des Herzens nachahmte, bestand diese Erscheinung unverändert fort und die Coronarien gaben keinen systolischen Strahl, selbst wenn sämmtliche Semilunarklappen vollständig exstirpirt wurden; und umgekehrt konnte sowohl vor als nach der Exstirpation derselben der bei der Systole wie bei der Diastole sich beständig zeigende Coronarienstrahl (wie er bisweilen von LUDWIG, stets von RÜDINGER und fast immer von BUDGE beobachtet wurde) durch eine geringfügige Modification zur Erscheinung gebracht werden, durch Einschaltung eines nicht einmal sehr beträchtlichen Widerstandes in den Aortenbogen, z. B. Heben seines freien Endes auf 2 bis 4 Zoll über das Niveau des Aortenabganges, oder auch durch Einschalten eines Kautschukschlauches mit enger Ausflussöffnung.

Wenn auch dieses wichtige Resultat beweist, dass die erwähnten Versuche von WITTICH, LUDWIG, RÜDINGER und BUDGE für die Entscheidung der Frage, welche uns beschäftigt, einen absoluten Werth nicht besitzen, so thut es doch der besonderen Beweiskraft der Versuche von HYRTL, ENDEMANN und PERLS keinen Abbruch, durch welche festgestellt worden ist, dass der aus der

durchschnittenen Kranzarterie hervorspritzende Strahl die Richtung von der Basis nach der Spitze des Herzens hat, dass er also direct vom Centralstumpf der Arterie, bez. vom Valsalva'schen Sinus herkommt. Wir wiederholen es noch einmal, die Resultate aus diesen Versuchen scheinen uns so entscheidend, dass wir es nicht begreifen, wie noch gegenwärtig einige Physiologen, wie z. B. Fick (43) und Hermann (44), eine Selbststeuerung als normale und fast unentbehrliche Erscheinung des Herzmechanismus vertheidigen können. Wenn wir aber auch von dem schlagenden Zeugniss jenes Versuchs völlig absehen, welcher in Wahrheit ein Experimentum crucis genannt werden kann, so scheint es uns nicht schwer dafür den Beweis zu liefern, dass schon der Synchronismus des Pulsirens der Coronarien mit dem der benachbarten Arterien, welchen doch selbst Brücke, der ausdauerndste Vertheidiger der Thebesius'schen Theorie nicht zu leugnen gewagt hat, schon dazu hinreicht um derselben den Boden völlig zu entziehen.

Wenn während der Contraction der Herzkammern das Lumen ihrer Haargefässe verschwindet, oder sich ihr Durchmesser sehr beträchtlich vermindert, so ist klar, dass beim Eintritt der Systole die Arterien dieses Organes sich in einen todten Zweig der Aortensinus verwandeln. In diesen letzteren hatte beim Ende der Diastole der Blutdruck sein Minimum erreicht; er wächst allmälig während der Systole und erreicht sein Maximum beim Ende derselben. Wenn nun die Halbmondklappen erst im weiteren Verlauf der Systole sich an die Wände der Sinus anlegen, und wenn, wie man nach dem hydraulischen Gesetz erwarten muss, in den in einen todten Zweig der Aorta verwandelten Kranzarterien in dem Moment, in welchem ihre Mündungen von den Klappen bedeckt werden, der Blutdruck derselbe ist wie in der Aorta: so müsste der Herzmuskel bis zu diesem Zeitpunkt nicht allein den Widerstand überwinden, welcher im Aortensystem im allgemeinen sich dem Vordringen der Blutsäulen entgegenstellt, sondern auch denjenigen, welcher durch das Bestreben des Blutes bedingt wird, sich durch die zusammengepressten Capillargefässe einen Weg zu bahnen.

Die Semilunarklappen haben jetzt die Ostia coronaria ge-

schlossen; aber auf die Zusammenpressung der Herzcapillaren folgt im weiteren Verlaufe der Systole die Compression der tiefliegenden Coronarzweige: und dieser entspricht das Zurückströmen des Blutes nach den Stämmen dieser Arterien, durch welches das Pulsiren derselben hervorgebracht wird. Welche Kraft müssen wir nun als die Ursache dieses Zurückströmens ansehen? Offenbar dieselbe, welche das Vordringen der Blutsäule im Aortensystem bewirkt, nämlich die Zusammenziehung der Herzwände. Aber welches ist dann das Verhältniss zwischen derjenigen Drucksteigerung einerseits, welche in dem zweiten Zeittheile der Systole das Blut in dem Aortensysteme erfährt, und der Drucksteigerung andrerseits, die gleichzeitig in den Herzarterien stattfindet? Es ist leicht zu beweisen, dass die Zusammenpressung der tiefliegenden Zweige dieser Arterien in ihren Stämmen eine Vermehrung des Druckes hervorrufen müsste die wenigstens derjenigen gleich wäre, welche die Systole der Kammer in der Aorta verursacht.

In der That, wenn die Drucksteigerung, die das Blut im Aortensystem hierbei erfährt, und welche wir vermittelst des Manometers messen, von einem Blutvolumen bewirkt wird, das nach den neuesten Angaben von Fick (1) 70 Ccm. nicht übersteigt, wie viel Blut wird dann nöthig sein um dieselbe Drucksteigerung in dem Stamme der Kranzschlagadern zu veranlassen, wo ausserdem dieser Druck bis zum Augenblick der Schliessung der Ostia schon gestiegen ist? Um nun nur ein solches Verhältniss anzusetzen, welches sicher noch hinter dem in der Wirklichkeit stattfindenden zurückbleibt, wollen wir annehmen dass der Cubikinhalt der Kranzarterien $^1/_{14}$ von demjenigen der Arterien des gesammten Aortensystems betrage. Dann wird nach Injection eines halben Cubikcentimeters Blut der Druck in den Kranzarterien während der Systole in demselben Masse steigen wie in der Aorta. Sollte aber aus den comprimirten tiefliegenden Aesten dieser Arterien ein grösseres Blutquantum zurückströmen, so würden offenbar die Semilunarklappen nicht sowohl gegen die Sinuswände gedrückt, als vielmehr gegen den Mittelpunkt des Aortenlumens getrieben werden, und es würde desshalb die angemessenste Selbststeuerung des Herzens eine

solche sein, welche am meisten ein freies Zurückfliessen von den Kranzschlagadern nach der Aorta gestattete.

Dass nun am Ende der Systole die Spannung der Kranzarterienwände derjenigen der Aortenwände das Gleichgewicht zu halten im Stande sei, leugnet Brücke nicht; und in der That, sollte in diesem Zeitpunkte der Blutdruck in der Aorta grösser sein, so würde der Strahl aus der angestochenen Coronararterie sich nicht (wie es der Fall ist bei jeder beliebigen benachbarten Arterie, z. B. der intercostalis) beim Eintritt der Diastole verkürzen, sondern vielmehr verlängern, um erst im weiteren Verlauf derselben nachzulassen. Brücke giebt aber gerade zu, wenn das Aortenblut in die Kranzschlagadern strömt, »so kann »es den Seitendruck in ihnen begreiflich nicht höher steigern, »als er gleichzeitig in anderen Schlagadern ist, in die das Blut »während der ganzen Systole ungestört einströmte.« Danach würde also diese ganze Selbststeuerung auf nichts anderes als darauf hinauslaufen, dass der Mechanismus des Herzens insofern eine Unterstützung erhielte, als der Blutdruck in den Kranzarterien sowohl während der Systole als während der Diastole dem in der Aorta gleich wäre, wobei freilich das Blut in denselben während der Systole nicht nur nicht vorwärts mit zunehmender Geschwindigkeit, wie bei allen anderen Arterien, sondern sogar rückwärts strömen würde.

Nachdem Brücke, wie er glaubt, die Selbststeuerung des Herzens bei der Ratte, beim Kaninchen, Pferd, Rind, Schwein, Hund und bei anderen Säugethieren bewiesen hat, wirft er sich die Frage auf, ob der Mensch in dieser Hinsicht weniger vollständig organisirt sein möchte als jene Thiere: »Sollte es sein nor»maler Zustand mit sich bringen, dass eins seiner wichtigsten »Organe mit einem Constructionsfehler behaftet ist, mit einem »Verstosse gegen die Regel der Mechanik, welchen man heutzu»tage selbst einem gewöhnlichen Maschinenbauer nicht verzeihen »würde?« Es ist aber offenbar, dass der Begriff dieser Selbststeuerung ebensoviel ist, wie eine absolute Wegleugnung der Ernährung des Herzens. In der That, da man allerdings annehmen darf, dass während der Diastole, deren Dauer sich im allgemeinen gerade so gross zeigt als die der Systole, zu den

tiefliegenden Gefässen dieses Organs gerade so viel Blut hinströmt, wie während der Systole zurückfliesst, so ergäbe sich die Nothwendigkeit eines perpetuirlichen Hin- und Zurückschwankens der ganzen Blutsäule sowohl in den Arterien wie in den Venen des Herzens. Nach dieser Hypothese würde folglich nicht nur jener systolische Verschluss der Kranzarterienmündungen unnöthig sein, auf welchen sie sich zu stützen vorgiebt, sondern ebenso sogar das Vorhandensein der Ostia coronaria. Da es ferner feststeht, dass der Druck des Blutes während der Systole sowohl in den Herzarterien als auch in den übrigen lediglich in Folge der Contraction des Ventrikels wächst, so wird andererseits klar, dass ein derartiger Mechanismus nicht darauf Anspruch machen kann, für das Herz eine Kraftschonung zu bewirken. Sollte vielleicht die sich zusammenziehende Kammer etwas von der eigenen Kraft in solcher Weise sparen, dass sie einen Theil davon dazu verwendet um ein Regurgitiren ins eigene Fleisch hervorzurufen? Sollte sie, so zu sagen, eigenhändig ihr eigenes Werk zerstören? Es ist doch ganz klar, dass die Kraft, welche die Kammer aufwenden müsste um dieses Zurückströmen zu Stande zu bringen, gerade dieselbe ist, welche genügend sein würde es zu verhindern, falls sie im entgegengesetzten Sinne wirkte, in der Art, dass das Zusammengerücktwerden der Coronargefässe verhütet würde!

Das systolische Pulsiren der Kranzarterien an und für sich bedeutet also auf jeden Fall, dass die Mündungen derselben sowohl bei der Systole als bei der Diastole offen bleiben, und dass die Geschwindigkeit des Blutes in diesen, wie in allen dem Herzen benachbarten Schlagadern, während der Systole eine Steigerung erfährt.

Aber es kommt noch etwas anderes hinzu. Ist es Thatsache, dass die die Muskeln durchziehenden Gefässe bei der Contraction derselben zusammengedrückt werden? LUDWIG, SCZELKOW (14) und SADLER (15) haben gerade das Gegentheil festgestellt: wenngleich zwar der mittlere Druck in der Aorta constant bleibt, so ist doch das Volumen des in der Zeiteinheit aus der Vene eines Muskels herausfliessenden Blutes während der Erschlaffung desselben bedeutend geringer als während seiner Zusammenziehung.

Der Widerstand, welchen das Blut in den Muskelgefässen zu überwinden hat, ist also während dieser letzteren geringer, und wie man nicht annehmen kann, dass jenes Gesetz für das Herz keine Geltung habe, für welches es doch in einem höheren Grade günstig ist als für jeden anderen Muskel, so muss man festhalten, dass es die Systole und nicht die Diastole ist, die den Blutumlauf in den Herzwänden unterstützt. In dieser Hinsicht müssen wir noch hinzufügen, dass für uns die anatomischen Gründe keine überzeugende Kraft haben, mit welchen LANNELONGUE (48) zu beweisen sucht, dass in den die Wände der Herzhöhlen durchziehenden Venen während der Diastole der Blutumlauf eine Unterbrechung erleide. Wir glauben nur, dass im Herz, wie in jedem anderen Muskel im Zusammenhang mit dem Rund- und Grösserwerden des Querschnittes der sich zusammenziehenden Muskelfasern das Lumen der zwischen ihnen befindlichen Lücken, in welchen die Gefässe verlaufen, sich, wenn auch in einem noch so geringen Grade, während der Systole vergrössern kann.

Diesen Thatsachen gegenüber fällt natürlich die secundäre Frage einer activen Diastole oder, wie FICK sich ausdrückt, einer diastolischen Erection des Herzens weg, wenngleich DONDERS sie vermittelst des in eine der Herzhälften eingeführten Manometers beobachtet haben will, während er unter hohem Druck die Wände derselben durch die eine Kranzarterie injicirte (49). Wir leugnen zwar nicht, dass während dieser Injection das Manometer eine Verringerung des Druckes im Herzcavum anzeigen konnte, um so weniger als ALBINI versichert, er habe mit blossem Auge und ohne Anwendung irgend einer Vorrichtung eine Erweiterung der Kammern bemerkt, als er ihre Wände unter einem verhältnissmässig schwachen Druck von 1,^{m}50 mit Wasser injicirte (50): aber wir wollen nur erwähnen, dass der Blutdruck in den Arterien entsprechend den Herzphasen nur Schwankungen innerhalb zweier nicht weit von einander entfernter Werthe erfährt, und dass die physiologischen Verhältnisse von diesen Beobachtern dabei gar nicht in Betracht gezogen sind. Uebrigens hat OEHL, der dieselben Versuche nach der Methode von DONDERS wiederholte, beständig ein Steigen des Druckes im

Herzcavum beobachtet, so oft der Druck eine grosse Steigerung in den Coronararterien erfuhr [51]. Es ist ferner allgemein bekannt, dass die blossgelegten Muskeln kein den Herzbewegungen entsprechendes Pulsiren zeigen, und dass dieselben, wenn man sie bogenförmig biegt, keineswegs das Bestreben erkennen lassen sich unter der Einwirkung der Systole des Herzens gerade zu strecken, wie das doch beim Bourdon'schen Manometer der Fall ist. Sollte nun das Herz sich anders als alle übrigen Muskeln verhalten? Sicherlich haben wir dafür nicht die Beweise.

Nachdem also, wie wir hoffen, der ausreichende Beweis dafür geliefert ist, dass die Selbststeuerung des Herzens unbedingt zurückgewiesen werden muss, kehren wir zu dem Oeffnungsmechanismus der halbmondförmigen Klappen zurück, um über die schon erwähnten Experimente von Rüdinger zu berichten, welcher nach directer Anschauung dieser Klappen die Möglichkeit völlig in Abrede stellte, dass dieselben sich an die Sinuswände anlegen können, zu welcher Annahme sich selbst einige von den Gegnern der Selbststeuerung, z. B. Senac, bequemt hatten. Wir müssen in dieser Hinsicht an die Hypothese von Bouillaud erinnern, welcher, wenn er sich auch in Bezug auf die Ursachen der Herztöne der Auffassung von Carswell und Rouanet anschloss und jede Anspielung sowohl auf die Theorie von Thebesius als auch auf die durch dieselbe hervorgerufene Streitfrage vermied, doch der Meinung war, dass das Anstossen der Semilunarklappen an die Wände der Arterienstämme zum systolischen Herzton beitrage, in der gleichen Weise wie dies nach seiner Ansicht für den diastolischen mit dem Anstossen der Cuspidalklappen gegen die Kammerwände der Fall sein sollte [52]. Rüdinger hätte somit festgestellt, dass die von uns erwähnte Hamberger'sche Hypothese diejenige ist, welche der Wirklichkeit am besten entspräche.

Er [53] bediente sich bei diesen Versuchen einer nur wenige Centimeter langen Glasröhre, deren Durchmesser dem der Aorta möglichst entsprach; sie war an dem einen Ende offen, an dem anderen mit einem durchsichtigen Glasdeckel geschlossen und auf der Seite mit einer Tubularöffnung versehen. Nachdem die Aorta wenige Linien oberhalb der Valsalva'schen Sinus durch-

schnitten war, band Rüdinger in den Centralstumpf das offene Ende der Röhre ein, während er die Seitencanüle in den peripherischen Stumpf einfügte, welcher aus der ganzen bei ihrer Abzweigung in die Arteriae iliacae durchschnittenen Aorta descendens bestand. Nachdem dann die Pulmonarvenen mit Ausnahme einer einzigen unterbunden waren, injicirte er durch eben diese so lange Wasser in das Herz, bis es klar aus demselben durch das Aortenende herausfloss, welches dann ebenfalls unterbunden wurde; schliesslich injicirte er noch weiter Wasser in diesen Apparat, bis die Herz- und Aortenwände davon »bis zu einem gewissen Grad« ausgedehnt wurden. Als er nun bald mit der Hand die Kammerwände drückte, bald sie sich wieder selbst überliess um die Systole und die Diastole nachzuahmen, konnte er durch den Glasdeckel sehr deutlich beobachten, wie die Semilunarklappen sich schlossen und öffneten.

Danach hätte also Rüdinger festgestellt, dass die äussersten Theile des freien Klappenrandes nur passiv und kaum bemerkbar sich bewegen: »der mittlere leichtere zwischen Nodulus »Arantii und der Ursprungsstelle gelegene Theil wird bei der »Systole und Diastole in der strömenden Flüssigkeit vorange- »drängt, wobei der schwere Nodulus etwas nachkommen muss.« Mit diesen ziemlich dunkeln Ausdrücken will Rüdinger die Sehnenlage verstanden wissen, welche die freien Klappenränder, die, wie er erkannte, kürzer sind als die Ausbuchtungen der entsprechenden Valsalva'schen Sinus, im Arterienlumen während der Systole annehmen sollen. Er wirft auch wirklich die Frage auf: wenn die Systole früher oder später diese Klappen in Berührung mit den Sinuswänden brächte, welche Kraft würde sie dann während der Diastole wieder von ihnen entfernen? Aber diese Bemerkung hat offenbar kein Gewicht, denn, wie wir schon gesagt haben, man kann annehmen, dass die durch den Andrang des Blutes während der Systole ausgedehnten Klappen in ihrer eigenen Elasticität eine Kraft besitzen, welche hinreicht um sie beim ersten Eintritt der Diastole sofort von den Sinuswänden wieder zu entfernen und sie mitten in die zurückfliessende Blutströmung zu bringen, welche ihre Schliessung bewirken soll.

Die Resultate dieser Untersuchungen, die von manchen, wie z. B. von Joseph [54], ohne Weiteres als richtig angenommen wurden, fanden im Allgemeinen wenig günstige Aufnahme, obgleich Mierswa [75] bei seinen ganz auf dieselbe Art angestellten Versuchen völlig analoge Resultate erhielt. Und die Ursache dieses Misstrauens ist nur zu leicht zu erkennen; denn Rüdinger dehnte die Aortenwände zu Anfang nur »bis zu einem gewissen Grade« aus, indem er in der Arterie einen Druck hervorrief, dessen genauere Bestimmung er völlig unterliess und welcher ebensowohl viel grosser als viel kleiner sein konnte als der mittlere Druck, den man beim lebendigen Organismus mit Hülfe des Manometers bestimmen kann; es ist ja aber doch nur zu augenscheinlich, dass der Einfluss ein ganz verschiedener ist, welchen eine grössere oder eine geringere Ausdehnung der Arterienwände und des Ostium arteriosum auf die Form und auf die Dimensionen nicht allein der Valsalva'schen Sinus, sondern auch der Klappen selbst ausüben muss. Rüdinger unterliess übrigens sogar die Messung der Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser durch die Compression des Herzens in die Aorta hineingetrieben wurde; wie es scheint, führte er die Systole, welche beim Menschen höchstens eine halbe Secunde dauert, so langsam aus, dass er bequem die Bewegung der Noduli Arantii von derjenigen der anliegenden Theile von den freien Klappenrändern unterscheiden konnte. Es war daher durchaus nicht auffallend, wenn diese Klappen, welche während der Systole von einem möglicherweise viel zu weit von dem physiologischen Verhältnisse entfernt bleibenden Volumen so schwach vorgestossen wurden, die Wände der Valsalva'schen Sinus nicht erreichen konnten. Daher kam es dass die Untersuchungen von Rüdinger, dessen Methode sicher die zweckmässigste ist, zur Lösung der Frage, in welcher Art und Weise die Oeffnung der Halbmondklappen stattfindet, nicht mehr beigetragen haben als die theoretischen Vermuthungen Hamberger's.

Was nun die Schliessung dieser Klappen betrifft, so schien ihr Mechanismus zu jeder Zeit, wie gesagt, so einfach und klar, dass man niemals daran dachte ihn zum Gegenstand von Specialuntersuchungen zu machen. Zwar hat Hamernjk in einem Auf-

satz [56], welcher eigentlich nichts weiter ist als ein nicht für den gewöhnlichen Menschenverstand berechneter Bericht über Baumgarten's Arbeit über den Mechanismus der Cuspidalklappen [57], kein Bedenken getragen die Möglichkeit eines Zurückströmens nach der Kammer zu leugnen, indem er behauptet, dass »die arteriösen Klappen (so wie die venösen) jedesmal dann »geschlossen werden, wenn die Spannung der hinter ihnen »liegenden Blutsäule durch die Systole der Kammer (bei den »venösen der Vorkammer) einen höheren Grad erlangt hat« (!); aber eine so seltsame und ausschweifende Behauptung hat überhaupt kein Recht von der Kritik berücksichtigt zu werden. Hamernjk selbst wusste sie nicht anders aufrecht zu erhalten, als indem er zu den grössten Absurditäten seine Zuflucht nahm, z. B. dass eine wenn auch noch so kurze Unterbrechung der die Venenstämme, das Herz und die Arterienstämme durchströmenden Blutsäulen auf jeden Fall den Tod nach sich ziehen würde; dass das Herz für den Kreislauf nur die Bedeutung eines Accelerators der Blutbewegung habe, die eigentlich (wenn es uns gelungen ist die Beweisführung Hamernjk's recht zu verstehen, welcher sich oft in der Nothwendigkeit befindet sich zu unterbrechen, um andere Schriften von sich anzuführen, in welchen diese Thatsache haarscharf bewiesen wäre) durch die Respirationsbewegungen des Brustkastens bewirkt werde, welche hierbei durch eine besondere und eigenthümliche ventilartige Function der Leber unterstützt würden; dass »der Unterschied »im Inhalte der Kammern während der Systole und Diastole »nicht so bedeutend ist«, und andere schöne Behauptungen dieser Art [58]. Was nun Marey betrifft, welcher zwar die Beweisführungen Hamernjk's mit Stillschweigen übergeht, aber sich dessen Schlussfolgerung aneignet, so wird es hinreichen darauf aufmerksam zu machen, dass er seine Behauptung »lorsque le ventricule se relâche, il ne reçoit pas une goutte de sang »artériel« nicht besser zu begründen weiss, als indem er sagt: »l'orifice artériel est muni de valvules, qui s'opposent à ce »reflux« [59]. Es kostet ja freilich auch viel mehr Mühe einen Beweis zu führen, als eine Behauptung ins Blaue hinein aufzustellen!

Schon NEGA hatte es in einer von Manchen als klassisch empfohlenen Abhandlung ausgesprochen: »Der Schluss der Semilunarklappen findet nicht ganz am Anfange, sondern im ersten Viertel der Diastole statt«[60]; und selbst RÜDINGER, der Beobachter der Klappenbewegungen, weit entfernt die angebliche Thatsache zu leugnen, sucht sie zu erläutern, indem er sagt: »Dass nun während des Klappenschlusses etwas Blut in die Kammer zurückströmen muss, versteht sich von selbst. Die arterielle Blutsäule drängt beim Beginn der Diastole nach den Klappen zurück; bevor der Schluss derselben aber vollkommen zu Stande gekommen ist, mag die Zeit dafür so kurz sein wie nur immer möglich, muss etwas Blut in die Kammer zurücktreten.« HYRTL spricht sich ebenso ausdrücklich für diese Auffassung aus: »Hört die Zusammenziehung der Kammer auf, so sucht die Elasticität der Arterie einen Theil des Blutes wieder in die Kammer zurückzutreiben; dieses Zurückstauen des Blutes schliesst die Valvulae semilunares«[61]; und allgemein findet man bei den Aerzten in Betreff der Schliessung der Halbmondklappen dieselbe Ansicht. So sagt TRAUBE, eine der anerkanntesten Autoritäten in physikalischer Diagnose: »Die halbmondförmigen Klappen während der Kammersystole im Zustand nahezu vollkommener Schlaffheit gerathen während der Diastole in eine stetig zunehmende Spannung, die im Augenblick des Klappenschlusses ihr Maximum erreicht und dann der Spannung gleich wird, die der angrenzende Abschnitt des zugehörigen Arteriensystems besitzt«[62].

Je nachdem man also annimmt oder nicht, dass bei der Systole die Semilunarklappen die Wände der Valsalva'schen Sinus erreicht haben, und abgesehen von der Selbststeuerung des Herzens, deren Nichtvorhandensein wir nachgewiesen haben, führt man heutzutage gerade so wie zu VESALIUS's Zeit, also vor der Entdeckung des Blutkreislaufes, die Schliessung der Halbmondklappen auf das Zurückströmen des Blutes aus den Arterienstämmen nach dem Herzen zurück, indem man dasselbe durch die eine oder die andere folgender Hypothesen zu erklären sucht:

1. Beim Eintritt der Kammersystole nehmen die freien

Klappenränder die Sehnenstellung zum Lumen des Gefässes ein. Darauf fliesst das Blut in die Arterie durch das dreieckförmige Ostium arteriosum bis zum Ende der Systole. Beim Eintreten der Diastole tritt in Folge der augenblicklichen Contraction der Arterienwände, deren Spannung die Kammer jetzt nicht mehr das Gleichgewicht hält, ein Zurückströmen des Blutes ein, und durch dieses werden die Klappen in der Richtung nach der Kammer immer weiter zurückgedrängt, bis sie das Ostium arteriosum völlig schliessen.

II. Während der Kammersystole, gleichviel ob gleich nach ihrem Eintreten oder erst gegen das Ende derselben, legen die zurückgeworfenen Klappen sich an die Wände der Sinus an. Bei der Diastole ziehen sie sich darauf vermöge ihrer eigenen Elasticität zusammen und erhalten die obenerwähnte Sehnenstellung, in welcher sie auch verbleiben würden, wenn sie nicht inzwischen von dem zurückfliessenden Blute erfasst würden, welches sie so weit treibt, dass sie das Ostium arteriosum schliessen, für eine Zeitdauer, welche, wie kurz auch immer, doch als grösser angenommen werden muss als jene, in welcher diese Schliessung nach der vorhergehenden Hypothese zu Stande kommt.

Nach jeder von diesen beiden Hypothesen würde ferner der kurze oder diastolische Herzton, welcher erst nach erfolgter Schliessung der Klappen eintritt, nothwendigerweise nicht früher stattfinden als wenn die Diastole schon weiter fortgeschritten ist: und da der Bruchtheil von der Zeitdauer der Diastole, in welchem diese Schliessung zu Stande kommen soll, unbestimmt oder vielmehr unbestimmbar bleibt, so würden uns die Herztöne kein Mittel an die Hand geben um die Zeitdauer der beiden abwechselnden Zustände dieses Organes zu messen. Wir werden dagegen sehen, dass die Schliessung der Semilunarklappen dem Eintritt der Diastole vorangeht, indem sie eine unmittelbare Wirkung von dem Aufhören der Systole ist; dass ferner, da in Folge davon der Möglichkeit eines Zurückströmens des Blutes vom Arterienstamm nach der Kammer völlig vorgebeugt wird, die Zeit, welche zwischen dem Beginn des längeren oder ersten und dem kürzeren oder zweiten Herztone verfliesst, das genaue

Mass für die Dauer der Systole giebt, und dass in Zusammenhang damit die Dauer der Diastole genau durch die vom Stattfinden des kürzeren Herztones bis zum Eintreten des längeren verfliessende Zeit gemessen wird.

Die eine wie die andere der oben erwähnten Hypothesen gründet sich überhaupt auf eine noch dazu nicht einmal dem Masse nach bestimmte Verschwendung der von der sich zusammenziehenden Kammer entwickelten Kraft, denn als eine solche ist doch jedes Zurückströmen des Blutes anzusehen. Eben desswegen schienen sie uns beide geradezu unphysiologisch zu sein, und dies führte uns nun darauf, ein rationelles und möglichst erschöpfendes Studium des Mechanismus der halbmondförmigen Herzklappen zu versuchen. Aus den Resultaten unserer im Juli des vergangenen Jahres im physiologischen Institut zu Leipzig angestellten Versuche, bei welchen wir von Seiten des Directors H. Prof. Dr. Ludwig das wohlwollendste und liberalste Entgegenkommen fanden, ergab sich dann auch die Richtigkeit einer Theorie, von deren Anwendbarkeit wir uns schon vorher auf Grund hydraulischer Betrachtungen überzeugt zu haben glaubten.

II. CAPITEL.

Eigene Versuche.

Wenn Wasserpumpen gut construirt sind, d. h. der Art dass bei der Bewegung des Kolbens im Cylinder ein vollständiger luft- und wasserdichter Verschluss vorhanden ist, und dass seine Geschwindigkeit dem Widerstande entspricht, welchen das Wasser im Saugrohr zu überwinden hat, dasselbe also eine continuirliche Säule darin bildet und in beständigem Contact mit dem Kolben bleibt, so findet kein anderer Kraftverlust statt als der, welcher durch den unvollkommenen Mechanismus der Klappen veranlasst wird, deren Schluss bekanntlich ausser durch das eigene Gewicht oder durch den Druck einer Feder, auch noch dadurch bewirkt wird, dass bei der plötzlichen Umkehrung der Kolbenbewegung ein Zurückfliessen des Wassers eintritt, da die Schliessung der Klappe durch das eigene Gewicht oder durch die Kraft der Feder nicht ebenso plötzlich, sondern verhältnissmässig langsamer und erst nach Verlauf einer gewissen Zeit zu Stande kommt. Daher kommt es, dass je nach der Art und der Vollkommenheit der Klappen die Leistungsfähigkeit der Pumpen bestimmt wird durch das Product aus der Hubhöhe und der Kolbenfläche multiplicirt mit einem von der Erfahrung gelieferten Coefficient, der zwischen 0,75 bei den gewöhnlichen Pumpen und 0,95 bei denen der vollkommensten Construction variirt. Man kann also annehmen, dass das Zurückströmen, welches die Klappen gestatten, im Mittel 15 Procent vom Volumen des eingesaugten Wassers beträgt [*].

Zwar verringert sich dieser Verlust oder verschwindet fast ganz bei den grossen Speisepumpen der Dampfmaschinen, indem man die Dauer der todten Punkte des Kolbens derart verlangert, dass der Bewegungswechsel desselben nur nach dem Schluss der Klappen stattfindet; es steht aber fest, dass die Herzpumpe bei ihrer Bewegung nur todte Punkte von unmessbarer Dauer bietet (64), so dass wir dieselbe nur mit den gewöhnlichen Pumpen vergleichen können; und wir würden daher zu der — wie wir bald sehen werden auch durch den Versuch gewissermassen als richtig bestätigten — Annahme genöthigt sein, dass ungefähr $^1/_7$ von dem Volumen des während der Systole herausgetriebenen Blutes jedesmal zur diastolischen Kammer zurückfliesst.

In dem besonderen Fall der Herzpumpe würde es freilich nicht schwer sein sich eine vollkommene Funktion der Semilunarklappen vorzustellen, wenn man für sie eine Gleichgewichtslage annimmt, die derjenigen der Schliessung der Ostia arteriosa entspricht, und wenn man ausserdem noch bei denselben ein kräftiges Bestreben voraussetzte in jene Lage wieder zurückzukehren, so oft sie mit Gewalt aus derselben gebracht sind, wie das eben bei künstlichen Pumpen der Fall ist. Wenn es sich so verhielte, so könnte man in der That glauben, dass (im Zusammenhang sowohl mit der beständigen Steigerung des Druckes, d. h. des Widerstandes in den Arterienstämmen, als auch mit der zuletzt eintretenden Abnahme der Contractionsgeschwindigkeit des Herzmuskels, wie sie auch von den myographischen Curven zur Darstellung gebracht wird,) das Volumen des herausgetriebenen Blutes in dem Verlaufe der in ihrer Gesammtheit die ganze Dauer der Systole ausmachenden Zeittheilchen fortwährend mehr und mehr sich verringert, und dass in Folge davon die Kraft, welche die Klappen geöffnet hält, allmälig geringer und schliesslich gleich Null wird, wobei es sich dann auch sogleich als nothwendige Folge ergeben würde, dass die Schliessung der Ostia arteriosa mit dem Aufhören der Systole synchronisch sein muss.

Eine Hypothese, welche von derartigen Voraussetzungen ausgeht, ist nun auch wirklich in der schon oben S. 14 citirten

Schrift von Burdach aufgestellt worden. Es heisst an der dort angeführten Stelle: »Der Mechanismus der halbmondförmigen »Klappen zeigt seine Wirkung auch nach dem Tode noch voll- »ständig. Vermöge der Federkraft, die sie den an ihrem freien »Rande befindlichen knorpligen Streifen verdanken, schnellen »sie, nachdem sie durch einen vom Herzen aus wirkenden »Druck an die Arterienwände gedrängt waren, wieder zurück »und schliessen die Höhlung. Sie machen daher nicht bloss »eine Einspritzung des Herzens von den Arterien aus unmöglich, »sondern entfalten sich selbst in der durch die Herzkammer in »die Arterien gespritzten Wachsmasse. Aus diesem letztern »Umstande, den ich immer beobachtet habe, wenn ich einen »vom Herzen aus eingespritzten Arterienstamm untersuchte, »geht hervor, dass diese Klappen nicht erst durch eine rück- »strömende Blutwelle entfaltet werden, sondern durch eigene »Federkraft einer solchen rückgängigen Bewegung zuvorkom- »men.« Eine solche Voraussetzung entspricht indessen, wie wir bald sehen werden, der Wirklichkeit keineswegs.

Diese Betrachtung zeigt uns jedoch, wie sehr für die Lösung der vorliegenden Frage eine möglichst genaue Kenntniss hinsichtlich der Gleichgewichtslage der Semilunarklappen unerlässlich ist. Dieser Punkt, welchen die von uns bisher angeführten Forscher vollständig bei Seite haben liegen lassen, bildete daher zuerst den Gegenstand unserer Untersuchungen.

Unter Gleichgewichtslage der Halbmondklappen verstehen wir diejenige, welche dieselben einnehmen, wenn der Arterienstamm, an dessen Mündung sie sich befinden, in gleicher Weise wie die Kammer mit einer Flüssigkeit angefüllt ist, welche dieselbe specifische Schwere wie das Blut hat und auf die Wände des Gefässes denjenigen Druck ausübt, der sich für dasselbe auf dem Wege des Versuchs als der mittlere physiologische Blutdruck feststellen lässt. Unter diesen Bedingungen wird von den Klappen inmitten der bewegungslosen Flüssigkeit eine Lage angenommen und beibehalten, welche dem Gleichgewicht aller auf dieselben wirkenden Kräfte entspricht; d. h. sie bleiben in vollständiger Ruhe.

Die Gleichgewichtslage der Semilunarklappen ist, wie man

sagen kann, ausschliesslich von den statischen Eigenschaften sowohl der Gewebe, aus denen sie bestehen, als auch der Wände der Valsalva'schen Sinus abhängig, zu welchen dieselben anatomisch gehören. Werden diese Klappen exstirpirt und in eine Kochsalzlösung gebracht, welche dieselbe Dichtigkeit wie das Blut hat, so zeigen sie, indem sie ganz allmälig in derselben Weise wie die Cuspidalherzklappen zu Boden sinken, dass ihre specifische Schwere als der des Blutes so gut wie gleich angenommen werden kann; und hieraus folgt dann wieder, dass, wenn die Flüssigkeit, welche die Arterienwände ausdehnt, bez. diejenige, welche das Herzcavum füllt, sich in Ruhe befindet, jede Lageveränderung des Gefässes oder des Herzens im Raum ohne allen Einfluss auf die Gleichgewichtslage der Klappen bleiben wird. Die von Einigen aufgestellte Behauptung, dass die Cuspidalklappen eine geringere Dichtigkeit als das Blut haben, wird um so mehr verdächtig, als jene durch diese angebliche Thatsache, welcher übrigens unsere Beobachtungen widersprechen, nichts geringeres als eine diastolische Schliessung des Ostium venosum erklären, wobei sie nicht allein die Bewegungen unberücksichtigt lassen, welche das Blut fortwährend im Herzcavum zeigt, sondern sogar annehmen dass das zugeflossene Blut am Ende der Diastole in einer so absoluten Ruhe verharre, dass die Wirkung von der geringern Dichtigkeit der Klappen ganz und gar nicht beeinträchtigt werde. Wir sind weit davon entfernt uns von diesen Theorien bestechen zu lassen, bei deren Aufstellung man es sogar übersah, dass das Herz bei der senkrechten Körperstellung nicht anders functionirt als bei der horizontalen und bei allen schrägen, sowie selbst bei der gänzlich umgekehrten; wir sind vielmehr überzeugt, dass in dieser Hinsicht, wenn es einmal feststeht dass das Klappengewebe und das Blut in ihrer specifischen Schwere einen überaus geringen Unterschied zeigen, es sich nicht sowohl darum handelt, ob und um wie viel das erstere leichter ist das letztere, sondern vielmehr darum, in welcher Richtung und mit welcher Kraft die Wirbel auf die Klappen wirken, in welche der Blutstrom bei seinem Eintreten in das Herzcavum und unmittelbar darauf sich zertheilt. Dass diese Auffassung die richtige ist, haben auch

die von uns an Herzen von Schweinen unmittelbar nach deren Tödtung angestellten Versuche völlig bestätigt.

Da wir aus Gründen, die wir später kennen lernen werden, Untersuchungen über den Mechanismus der Semilunarklappen bloss in der zusammen mit dem Conus arteriosus herausgeschnittenen Pulmonalarterie anstellen konnten, so war es für uns von Interesse zu wissen, ob die Gleichgewichtslage dieser Klappen in der Aorta dieselbe ist. Um dieses festzustellen machten wir zunächst einen Versuch unter Anwendung einer Methode, die der von Rüdinger bei der Untersuchung der Klappenbewegungen befolgten analog war, indem wir uns einer 0,^{m}03 weiten Glasröhre bedienten, welche an dem einen Ende offen, an dem anderen durch eine Glasscheibe geschlossen war und auf der Seite eine zur Aufnahme eines Manometers bestimmte kleinere Tubularöffnung hatte. Durch diesen Versuch wollten wir uns ausserdem eine möglichst genaue Kenntniss von der physiologischen Lage und Gestalt der Pulmonalarterie verschaffen, welche doch den Gegenstand unserer weiteren Untersuchungen bilden sollte.

Nachdem die Aorta an dem Punkte, wo ihr aufsteigender Theil in den Bogen übergeht, die Pulmonalis aber gleich unterhalb ihrer Gabelung durchgeschnitten war, wurden diese beiden Gefässe in der Weise präparirt, dass sie nur noch vermittelst des aus dem obliterirten Ductus arteriosus entstehenden Ligamentes zusammenhingen; die Coronararterien wurden unterbunden und ebenso die in die beiden Vorhöfe einmündenden Venen mit Ausnahme einer Pulmonalis und der Cava superior, durch welche letzteren mit einer Spritze so lange Wasser in die beiden Herzhälften injicirt wurde, bis es klar aus dem Stumpf der Arterienstämme herauskam. In eben diese wurde dann das offene Ende der Rüdinger'schen Röhre eingebunden, die vorher ebenfalls mit Wasser gefüllt und mit einem Manometer verbunden worden war. Durch die beiden Venen wurde schliesslich von neuem so lange Wasser in jede Herzhälfte injicirt, bis der Niveauunterschied des Quecksilbers in den beiden Manometerschenkeln beim linken Herz 0,^{m}200 und beim rechten etwa 0,^{m}023 betrug, entsprechend dem normalen Druck des Blutes in

der Aorta bez. in der Pulmonalarterie [65]. Auch ohne Anwendung von Spiegeln zeigten sich die Semilunarklappen bei der Transparenz der Arterienwände hinreichend beleuchtet, so dass man durch den Glasdeckel der Röhre, welche man wohl kurz mit den Namen Speculum cordis bezeichnen kann, sehr gut nicht allein die Gestalt und die gegenseitigen Beziehungen der Klappen beobachten konnte, sondern auch alle Nebenumstände sowohl bei den freien Rändern als bei der concaven Fläche, welche von einigen als die äussere, von anderen als die obere bezeichnet wird. Das Ergebniss dieses Experimentes war folgendes:

Liegt das Herz mit seiner Axe senkrecht und mit der Spitze nach unten gerichtet, so befindet sich der Mittelpunkt des rechten Ostium arteriosum ungefähr 0,m015 oberhalb desjenigen des linken. Die von den Enden der freien Klappenränder bestimmte Ebene, d. h. also die Ebene des Ostium arteriosum, welche in der Aorta ziemlich horizontal ist, bildet in der Pulmonararterie links und hinten mit der Herzaxe spitze Winkel bis zu 45°. Dieses Gefäss, welches leer eine Länge von etwa 0,m05 hatte, mass nach seiner Ausdehnung durch den oben angegebenen Druck 0,m07; von der Wurzel bis zur Gabelung steigt es in die Höhe nach links und nach hinten, in einer Curve, die wir Bogen der Pulmonalarterie nennen wollen: die Sehne dieses Bogens bildet mit der Axe vom Conus arteriosus der rechten Kammer einen Winkel von ungefähr 130°, welcher von der Ebene des entsprechenden Ostium arteriosum in annähernd gleiche Theile getheilt wird. Nun wird durch die Ebene dieses Winkels, welche sich als senkrecht zu der des Ostium arteriosum ergiebt, d. h. durch die Krümmungsebene der Pulmonalarterie, wieder der vordere Valsalva'sche Sinus dieser Arterie selbst in zwei Hälften getheilt, d. h. jener Sinus, welcher beständig aus dem oberen Rande der Vorderseite des Herzens heraustritt und auf dem convexen Profil der Arterie aufliegt: diese Krümmungsebene geht dann natürlich auch durch den Punkt, in welchem die zwei Seitensinus der Pulmonaris zusammenstossen. Die Form und die Dimensionen dieser Sinus, wie auch die Gleichgewichtslage der halbmondförmigen Klappen

ergaben sich sonst im Wesentlichen als identisch in beiden Arterienstämmen [66]; die freien Ränder dieser Klappen bildeten in einer später noch genauer zu besprechenden Weise die Seiten eines in das Lumen des Gefässes eingeschriebenen Dreiecks. Es war also kein Zweifel, dass das, was sich in Bezug auf den Mechanismus der Klappen der Pulmonalarterie feststellen liesse, auch für die der Aorta Geltung haben musste.

Der Apparat, dessen wir uns für die weiteren Versuche über die herausgeschnittene Pulmonalarterie bedienten, ist auf der beigefügten Tafel unter Fig. 1 dargestellt, welche auch zugleich die von uns angewandte Methode deutlich erkennen lässt. Die Mündung eines weiten cylindrischen Gefässes *A*, welches senkrecht auf einem hölzernen Untersatz steht, ist mit einer resistenten Kautschukmembran wasserdicht geschlossen. Dieses Gefäss hat auf dem Boden eine Oeffnung, in welche vermittelst eines Kautschukpfropfens ebenfalls wasserdicht eine 0, 03 weite Glasröhre eingefügt ist; dieselbe ist unter dem Gefäss rechtwinklig gebogen, und läuft dann ein paar Decimeter horizontal, biegt sich darauf aber wieder rechtwinklig nach oben, um so in senkrechter Lage mit ihrem Ende die horizontale Ebene zu erreichen, in welcher der obere Rand des Gefässes liegt. Dieser letzte aufsteigende Theil *B* der Röhre, dazu bestimmt den Conus arteriosus zu tragen, wird von einer Klemme gehalten; das Stativ, an welchem sich diese Klemme befindet, hat höher oben eine zweite, um mit derselben eine senkrechte Röhre *C* festzuhalten, die oben in einem offenen cylindrischen Glasgefässe *D* endet, unten aber gebogen ist und dann vermittelst eines kurzen Kautschukschlauches in die seitliche Canüle des Speculums *E* mündet. Diese Röhre *C* zusammen mit dem Gefäss *D*, in welchem sie ausläuft, versieht den Dienst eines Manometers.

Das Speculum liegt wenige Centimeter über dem Niveau vor der Mündung der Röhre *B*, welcher es sein offenes Ende zuwendet: da dasselbe mit der oberen Röhre vermittelst eines Schlauches verbunden ist, so ist auch seine Lage keine unveränderliche, d. h. es kann seiner Axe eine beliebige Neigung zur Axe des Röhrentheiles *B* gegeben werden. Wird nun durch die letztere so lange Wasser eingegossen, bis es das Gefäss *A* gefüllt

hat (wobei darauf zu achten ist, dass keine Luftblase darin bleibt) und in der Röhre *B* genau bis an die Mündung reicht, so wird die elastische Membran nothwendigerweise auch jetzt noch fortfahren eine Ebene zu bilden, weil bei der vorher angegebenen Länge der Röhre *B* das Niveau der Flüssigkeit in dem communicirenden Systeme dasselbe sein muss.

Wir sagten, dass wir uns für diese Versuche des Schweineherzens bedienten; wir müssen jetzt hinzufügen, dass die erhaltenen Resultate sich unmittelbar auf das menschliche Herz anwenden lassen, weil dieses nicht allein dieselben Dimensionen und im Allgemeinen dieselbe Form hat, sondern auch in den hauptsächlichen anatomischen Details sehr viele Analogien mit jenem bietet. Das Herz wurde uns jedesmal zusammen mit den Lungen spätestens eine Stunde nach dem Tode des Thieres geliefert und innerhalb weniger Minuten derart präparirt, dass wir bloss den in die Pulmonalarterie übergehenden Conus arteriosus der rechten Kammer erhielten. Die Präparationsweise war folgende.

Nachdem das Herz durch einen Schnitt, welcher die Pulmonalarterie gerade an ihrer Gabelung traf, von den Lungen getrennt worden war, wurde dieselbe sorgfältig von der Aorta auf ihre ganze Länge bis zu den Valsalva'schen Sinus isolirt und darauf die Aorta ebensowohl wie beide Vorhöfe weggeschnitten. Durch einen Schnitt, welcher parallel zu der Ebene der Ostia venosa geführt wurde und den Conus arteriosus 0.m03 von seinem Uebergang in die Pulmonalarterie durchschnitt, wurde dann die Herzspitze abgetrennt. Um nun jenen Theil der rechten Kammer, welcher seiner kegelförmigen Gestalt den Namen Conus arteriosus verdankt, so viel als möglich in eben dieser Form bloszulegen, war es nur noch nöthig die übriggebliebenen seitlichen Theile des Septum ventriculorum abzulösen, was durch drei senkrecht durch die fibrösen Ringe der Ostia venosa gehende Schnitte bewerkstelligt wurde.

Hierauf wurde in der Pulmonararterie das offene Ende der Rüdinger'schen Röhre fest eingebunden; das Anbinden des Conus auf die Mündung der Röhre *B* musste mit Vorsicht geschehen, damit die Ränder der letzteren nicht die Halbmondklappen erreichten, wodurch sie deren Bewegungen beeinträchtigt hätten;

dass das nicht der Fall gewesen war, wurde jedesmal nach dem Versuche erst noch besonders festgestellt, wobei der Abstand zwischen dem Rande der Röhre und der unteren Grenze der Valsalva'schen Sinus sich niemals geringer als 0,^{m}005 zeigte. Damit der Bindfaden, welcher stark angespannt jedesmal tief in das Fleisch eindrang, nicht auch das widerstandsfähigere Endocardium verletzte, wurde vorher das Ende der Röhre mit einem Stück Gummischlauch von kleinerem Durchmesser überzogen. Mit Rücksicht auf die Ergebnisse unseres vorläufigen Versuchs war endlich noch darauf zu achten, dass die Richtung des Speculums zu der Röhre *B* eine solche war, dass bei der unmittelbar darauf folgenden Anfüllung des Ganzen mit Wasser, durch welche der normale Druck auf die Arterienwände hervorgerufen werden musste, die Arterie selbst ihre obenerwähnte natürliche Lage beibehielt, wie dieselbe in Fig. 1 angegeben ist, wo *F* den präparirten Theil des Herzens darstellt und *a* die Pulmonararterie ist, *b* der Conus arteriosus, *c* die Wurzel der abgeschnittenen Aorta.

Besondere Behutsamkeit erfordert auch die Herstellung der nöthigen Druckstände im Gefäss *D*. Wenn das Niveau des Wassers im Speculum die Seitenöffnung erreicht hat, durch welche es hereingeflossen war, so bleibt in dem oberen Theile desselben Luft eingeschlossen, welche aber bei der Nachgiebigkeit sowohl der Arterienwände als auch des kleinen Verbindungsschlauches zwischen *C* und *E* durch passende Bewegungen der Röhre bis auf das letzte Bläschen entfernt werden kann; denn für eine genaue Beobachtung der Klappen ist es unumgänglich, dass das Wasser überall bis an den Glasdeckel unmittelbar heransteht. Dem während der Füllung des Apparates stetig steigenden Drucke der Wassersäule entsprechend dehnt sich ausserdem die Kautschukmembran auf dem Gefässe *A* allmählig immer mehr und mehr aus, und bildet so zu sagen eine Kuppel oberhalb seines Randes, deren Entstehung von einer durch das Ostium arteriosum hingehenden Strömung bewirkt wird, welche also dasselbe zu schliessen bestrebt ist. Die Füllung muss daher überaus langsam geschehen, denn da auf jeden Fall dem Studium der diastolischen Klappenbewegungen die Untersuchung ihrer Gleichgewichtslage und der systolischen Bewegung vorhergehen

muss, so würde offenbar jeder Stoss, welcher vor der Zeit die diastolische Schliessung verursachen würde, ganz unnütz der Elasticität der Klappen Gefahr bringen und ihre Structur beschädigen können.

In unserem Apparat erreichte die oberhalb der Horizontalebene der Arterienwurzel befindliche Wassersäule die Höhe von 0,^{m}30, als ihr Niveau ungefähr bis zum Drittel des oberen Gefässes *D* gestiegen war; der Widerstand der elastischen Haut auf dem Gefässe *A* ward dahin berechnet, dass die durch ihre Erhebung über die Ebene des Gefässrandes gebildete Kugelmütze ein Volumen von 70 Ccm. hatte gleich dem des Blutes, welches die Kammer während der Systole austreibt: und andererseits war der Durchmesser des Cylinders *D* so bemessen, dass er in der Höhe von 0,^{m}05 den Inhalt von 70 Ccm. hatte. Auf diese Weise konnten wir, indem wir durch Compression die elastische Haut in ihre frühere ebene Lage zurückbrachten, ein Durchfliessen von 70 Ccm. Wasser durch das Ostium arteriosum bewirken und zu gleicher Zeit in der Arterie den diastolischen Druck von 0,^{m}30 bis zu dem systolischen von 0,^{m}35 erhöhen. Dadurch dass wir darauf plötzlich die elastische Membran sich selbst überliessen, wurde dann die Diastole des Herzens in einer dem physiologischen Hergang ganz entsprechenden Weise zur Darstellung gebracht.

Die Zahl der von uns mit diesem Apparat angestellten Versuche, um sowohl die Gleichgewichtslage als die Bewegungen der Semilunarklappen zu bestimmen, beläuft sich im ganzen auf zehn. Bevor wir aber über die dadurch erreichten Resultate berichten, müssen wir eine kurze Beschreibung der von den Valsalva'schen Sinus gebildeten Arterienwurzel vorausschicken, welche wir mit dem Namen der Pars sinuosa des Arterienstammes bezeichnen wollen, um sie von demjenigen Theile zu unterscheiden, welcher zwischen der oberen Grenze der Sinus und der Gabelung der Arterie liegt, dessen Gestalt dem Namen Pars bulbosa gut entspricht. Diese Beschreibung, welche sich auf directe innere sowohl, als äussere Anschauung des unter normalem Drucke ausgedehnten und sich in normaler Lage befindenden Gefässes gründet, wird einerseits Retzius's willkür-

liche und ganz künstliche Auffassung von dem Wesen der Valsalva'schen Sinus berichtigen ([67]), welche noch heutzutage bei der Mehrzahl der Anatomen und Physiologen Beifall findet, und andererseits uns Gelegenheit bieten die Nomenclatur zu geben, deren wir uns, um verständlich zu sein, bei der Beschreibung des Mechanismus der Klappen bedienen müssen.

Die freien Klappenränder haben in der Aorta wie in der Pulmonalarterie ziemlich gleiche Länge; die aneinander anstossenden Enden je zweier Klappenränder sind an einem gemeinsamen Punkte in die Arterienwand gefügt; und die durch diese drei von einander gleich weit entfernten Punkte gegebene Ebene — wir haben sie schon die Ebene des Ostium arteriosum genannt, — theilt die Pars sinuosa in zwei gleiche Theile, in einen unteren nämlich, welcher weiterhin in den Conus arteriosus übergeht und welchem die Klappen angehören, und in einen oberen Theil, der mit der Pars bulbosa zusammenhängt und von dieser nur durch eine kaum bemerkbare Einschnürung getrennt ist, deren Durchmesser beim ausgewachsenen Schweine etwa 0,^{m}032 beträgt. Das gleichseitige Minimaldreieck, das man in den durch die Ebene des Ostium arteriosum bestimmten Querschnitt der Pars sinuosa einschreiben kann, ist dasjenige, dessen Spitzen in den obenerwähnten drei Punkten liegen. Die Seite desselben zeigt nun ein ziemlich constantes Verhältniss zur Seite des ebenfalls gleichseitigen Maximaldreiecks, welches durch die Mittelpunkte im Profil der drei Sinusbogen gegeben ist: die Seite des Minimaldreiecks verhält sich zu der des letzteren wie 7 : 9, indem beim ausgewachsenen Schwein die erste 0,^{m}028, die andere 0,^{m}036 beträgt. Beide Dreiecke haben einen gemeinschaftlichen Mittelpunkt, welcher zugleich der des Querschnittes der Sinus ist; wir wollen diejenige Senkrechte auf diesen Querschnitt, welche durch seinen Mittelpunkt geht, die Axe nennen.

Auf der Ebene des Ostium arteriosum stellen sich die Profile der Sinus augenscheinlich als zu solchen Kreisen gehörende Bogen dar, deren Centra in das Minimaldreieck fallen würden in geringem Abstand von dem Mittelpunkt der Seiten desselben, welche die Sehnen jener Bogen bilden. Die convexen Oberflächen

der unter dem Druck einer $0^m,30$ bis $0,^m40$ hohen Wassersäule ausgedehnten Sinus stellen aber gewissermassen drei aus dem Arterienkörper hervortretende Segmente von Ellipsoiden dar, welche auf der als grosse Axe angenommenen Seite des Minimaldreiecks sich construiren lassen. Die Höhe der Sinus zwischen ihren Uebergangen einerseits in die Pars bulbosa, andererseits in den Conus arteriosus, d. h. die Entfernung zwischen zwei die Pars sinuosa einschliessenden senkrecht zur Axe des Sinusquerschnittes liegenden Ebenen, beträgt $0,^m018$ bis $0,^m020$.

In Fig. 2, welche ebensowohl den Sinusquerschnitt der Pulmonalarterie beim Schwein als auch die Gleichgewichtslage der freien Klappenränder in natürlicher Grösse zeigt, werden die bisher besprochenen Verhaltnisse in anschaulichster Weise zur Darstellung gebracht. ABC ist das Maximaldreieck, abc das Minimaldreieck, das sich in die von den Profilen aCc, cBb, bAa der Valsalva'schen Sinus gebildete Figur einschreiben lasst, die Gerade Ac, welche die Seite ab und den Winkel c des Minimaldreiecks halbirt, entspricht der Intersection der obenerwahnten Krümmungsebene der Arterie mit der Querschnittsebene der Sinus selbst, und der um das Minimaldreieck beschriebene Kreis ist die Projection jenes Arterienquerschnittes, welcher der die Pars bulbosa von der sinuosa scheidenden Ebene entspricht. Die grosse Aehnlichkeit dieser Figur mit denen, welche LUDWIG [**] in Betreff der Valsalva'schen Sinus beim Menschen auf Grund eines von BRÜCKE hergestellten Gypsabgusses der Pars sinuosa gegeben hat, wird jeden davon überzeugen, dass die Resultate unserer Untersuchungen sich ohne Bedenken auch auf das menschliche Herz übertragen lassen.

Wir wenden uns schliesslich zur Gleichgewichtslage der Klappen, indem wir zur Betrachtung des Ostium arteriosum, d. h. der aus der Projection der freien Klappenränder auf die Querschnittsebene der Sinus entstehenden Figur übergehen; wir sagen aus der Projection, weil in der That nur die Endpunkte dieser Ränder und die Noduli Arantii in dieser Ebene liegen, indem sich im Uebrigen die freien Ränder mehr oder weniger von derselben entfernen, um jene Bogen zu beschreiben, welche HALLER die Lunulae valvularum semilunarium nannte [**].

In sieben von den zehn von uns angestellten Versuchen traten diese Lunulae in dem freien Rand *a x b* der Klappe von dem vorderen Sinus *a A b* deutlich hervor, und zwar in der Weise, dass von derselben fast ausschliesslich der Nodulus Arantii in das Minimaldreieck fiel. Wir werden später sehen, dass in Folge der Neigung der Axe des Conus arteriosus zu der Ebene des Ostium arteriosum diese zu dem convexen Profil der Arterienkrümmung gehörende Klappe von den anderen beiden auch in ihren Bewegungen etwas abweicht. Die Gleichgewichtslage der freien Ränder von den Klappen der seitlichen Sinus ergab sich als derjenigen ganz ähnlich, welche die drei Aortenklappen gezeigt hatten; diese Ränder beschreiben nämlich in dem Minimaldreieck sehr flache Curven *a z c*, *c y b*, zu welchen sich die Seiten desselben als Sehnen verhalten, indem ihre Noduli augenscheinlich mit dem Centrum des Kreises zusammenfallen, zu welchem jedesmal der von dem Profil des Sinus gebildete Bogen gehört. In diesen sieben Fällen stellte also das Ostium arteriosum ziemlich genau das Minimaldreieck dar, und Steigerungen der Drucksäulenhöhe von 0,^{m}30 bis auf 0,^{m}40 hatten kaum eine wahrnehmbare Veränderung seiner Gestalt zur Folge, indem die Projection der freien Klappenränder sich dabei um so mehr den Seiten des Dreiecks näherte, bis sie schliesslich vollständig mit denselben zusammenfiel. Eine fernere Drucksteigerung konnte dann nichts weiter bewirken, als dass die Arterienwände unter Auseinanderzerrung des Klappengewebes immer mehr ausgedehnt wurden.

Bei den anderen drei Herzen und besonders deutlich bei demjenigen, welches für den ersten Versuch gebraucht wurde, zeigten die freien Klappenränder unter dem Druck einer 0,^{m}30 hohen Wassersäule die Gestalt eines flachen Spitzbogens, dessen dem Nodulus entsprechende Spitze etwa in die Mitte des Abstandes der Minimaldreieckseite vom Mittelpunkt des Dreiecks fiel. In diesen drei Fällen hatte das Ostium arteriosum also die Form eines dreistrahligen Sternes; und durch Steigerung des Druckes auf 0,^{m}40 konnte man wohl eine weitere Abflachung der Bogen, aber nicht ihr Zusammenfallen mit den Dreieckseiten bewirken. Wir werden sehen, dass bei jenem ersten Versuche,

bei welchem diese gewissermassen als Anomalie zu bezeichnende Gestaltung der Klappen mit sternförmigem Ostium arteriosum am meisten hervortrat, der Klappenmechanismus eine damit zusammenhängende Eigenthümlichkeit zeigte.

Aus dem, was wir bis jetzt hinsichtlich der Gleichgewichtslage der Klappen gesehen haben, geht hervor, dass der zu Anfang dieses Capitels erwähnte Erklärungsversuch, auf welchen man vielleicht verfallen konnte um sich die Unmöglichkeit eines Zurückströmens des Blutes von dem Arterienstamme nach der Kammer vorzustellen, nicht bloss viel zu künstlich ist, sondern auch jedes Anhaltes entbehrt. Wir haben jedesmal die Höhe der Wassersäule bis auf 0,^{m}20 sinken lassen und so den Druck auf ein Minimum reducirt, wie es vielleicht niemals im Leben vom Blut des Pulmonalstammes erreicht wird: aber wir haben nie auf diese Weise das Aneinanderstossen der freien Klappenränder zu Wege bringen können, selbst nicht da, wo das Ostium arteriosum schon eine sternartige Form unter doppeltem Drucke zeigte. Dass nichtsdestoweniger die Semilunarklappen dieses Zurückströmen in Wirklichkeit verhindern, haben wir schon oben gesagt und werden es auch bald beweisen; für jetzt wollen wir in Betreff dessen, dass wir auf Grund der bei den künstlichen Pumpen geltenden Verhältnisse uns die Annahme erlaubt hatten, das Zurückströmen stelle eine Verschwendung von ungefähr $^{1}/_{7}$ der Arbeit des Herzens dar, nur noch dies erwähnen, dass auch in dieser Hinsicht der Nachweis für die Richtigkeit derselben nicht vernachlässigt worden ist.

Für diesen Zweck war unser Apparat auch gerade überaus geeignet, indem nur an die Stelle des Gefässes *D* und der Röhre *C* eine nach Cubikcentimetern graduirte Röhre trat, deren Ende die Höhe von 0,^{m}35 oberhalb der Horizontalebene der Arterienwurzel erreichte. Ward diese Röhre mit Wasser gefüllt, so hob sich die elastische Haut in der schon erwähnten Weise auf dem Gefäss *A*; sobald sie aber dann durch Druck mit der Hand in ihre ursprüngliche ebene Lage zurückgebracht und sanft noch etwas unter den Gefässrand hinabgedrückt wurde, so floss durch das offene Ende der Röhre das Wasser heraus, wobei natürlich die Höhe der Drucksäule unverändert auf 0,^{m}35 stehen blieb.

Jetzt konnte man die Diastole nachahmen und eine durch das Zurückströmen bewirkte Schliessung der halbmondförmigen Klappen hervorrufen, indem man plötzlich die Kautschukmembran ihrer eigenen Elasticität und dem Druck der Wassersäule frei überliess. Das Volumen des zurückgeflossenen Wassers wurde dann durch den Fall des Niveaus in der graduirten Röhre angegeben.

Auf diese Weise haben wir festgestellt, dass, wenn die Schliessung der halbmondförmigen Klappen nicht die Endfunction der Systole selbst wäre, das dem Eintritt der Diastole entsprechende Zurückströmen in den Fällen, wo das Ostium arteriosum sternförmige Gestalt hat, ungefähr 7 Ccm. betragen würde, 11 Ccm. aber in denen, wo dasselbe ein Dreieck bildet; im Mittel also (da wir darauf Rücksicht nehmen müssen, dass der letztere Fall der bei weitem häufigere ist) 10 Ccm., was gerade $^1/_7$ des in die Arterien während der Systole getriebenen Blutquantums ausmacht. Mit Recht hätten wir also die Herzklappen mit denen der Pumpen von ganz gewöhnlicher Construction in Vergleich gestellt, deren mässige Leistungsfähigkeit eben dadurch berechnet wird, dass man in die betreffende Formel einen Coefficienten von 0,85 einfügt.

Ein so seltsames und mit der für die organischen Mechanismen gerade charakteristischen Vollkommenheit so direct in Widerspruch stehendes Resultat würde uns dazu bewogen haben mit um so grösserem Interesse weiter nachzuforschen, um Mittel und Wege zu finden, auf denen es uns gelingen könnte das Herz von einer solchen Kraftverschwendung freizusprechen, wenn uns nicht die Erscheinungen, welche die Flüssigkeiten in den Leitungsröhren bieten, schon vorher auf eine Hypothese geführt hätten, welche der Bedingung Genüge leistet, die Möglichkeit eines Zurückströmens in die Herzpumpe auszuschliessen.

In Betreff dieser Erscheinungen war Darcy ([70]), welcher mit den Vorarbeiten zu einer Wasserleitung für die Stadt Dijon betraut, zur Bestimmung der Geschwindigkeitscurven des Wassers in einer Leitungsröhre Versuche mit der Pitot'schen Röhre angestellt hatte, zu solchen Resultaten gelangt, aus welchen sich schon ohne weiteres eine Ungleichheit des Druckes in den ver-

schiedenen Punkten eines und desselben Querschnittes der Wassersäule entnehmen liess. Der specielle Beweis dafür wurde aber von Ludwig und Stefan geführt, welche bei ihren Versuchen zu dem eigenthümlichen Resultate gelangten, dass jedesmal, wenn man mit Hülfe eines ausserhalb um die Leitungsröhre im Bogen herumgehenden Glasröhrchens eine Verbindung zwischen dem Mittelpunkte und einem beliebigen Peripheriepunkte ihres Querschnittes herstellt, in diesem Bogen eine Strömung stattfindet, welche beständig die Richtung von den Wänden nach der Axe der Leitungsröhre verfolgt, und sofort sichtbar wird, wenn man z. B. Bärlappsamen in das Wasser thut (71). Es schien somit völlig bewiesen zu sein, dass ebenso wie in den verschiedenen Punkten eines und desselben Querschnittes von einer Leitungsröhre die Geschwindigkeit der Wasserfäden variirt, so auch ihr Druck verschieden ist, und zwar in der Weise, dass derselbe an den Wänden der Röhre, wo die Geschwindigkeit am geringsten ist, den höchsten Grad erreicht, den niedrigsten aber in der Axe, wo jene am grössten ist.

Trotzdem dass die von Ludwig und Stefan angewandten Manometer und Bogenröhrchen Enden von der äussersten Feinheit hatten, so war doch Fick der Meinung, dass die Ursache jener Erscheinungen auf die Wirbel zurückzuführen sei, welche sich beim Aufstossen des Wassers auf dieselben in der Leitungsröhre bilden konnten. Aus der Thatsache, dass die Bewegung der Wassertheilchen, wenn dieselbe nicht durch das Vorhandensein in die Strömung hineinragender fremder Körper beeinträchtigt wird, sich in einer geradlinigen Röhre als parallel mit der Axe ergiebt, folgt nach Fick unmittelbar einer der Grundsätze der Hydrodynamik, nämlich der, dass der Druck in allen Punkten eines Röhrenquerschnittes derselbe ist: »In der That«, fügt er hinzu, »wäre in einem zur Axe senkrechten Querschnitt an »verschiedenen Punkten der Druck verschieden, so müsste »sofort Bewegung von den Orten hoheres zu den Orten niederes »Druckes erfolgen, und es konnte nicht überall die Bewegung »ausschliesslich der Axe parallel bleiben« (72).

Dass in jedem beliebigen Querschnitt einer Röhre die Bewegung des Wassers ausschliesslich der Axe parallel bleibt, ist

allerdings eine Annahme, welche sich bei allen Hydraulikern ohne Ausnahme findet, aber dieselbe kann offenbar keine absolute Geltung beanspruchen. Denn ist man einerseits auf Grund der an den Wasserleitungen festgestellten hydraulischen Gesetze gezwungen anzunehmen, dass die Geschwindigkeit der Wassertheilchen einer in einer Röhre bewegten zwischen zwei Stempeln eingeschlossenen Wassersäule je nach dem Abstande von den Wänden verschieden ist, und zwar am grössten in der Axe und am geringsten an den Wänden, so muss man doch auch andererseits unbedingt zugeben, dass die mittlere Geschwindigkeit der Wassertheilchen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der gesammten Wassersäule gleich kommt; und es würde daher ebenso absurd sein, wenn man glauben wollte, dass nur die Geschwindigkeit des Axialfadens derjenigen des Stempels gleichkomme, als wenn man zugeben wollte, dass allerdings die Geschwindigkeit dieses Fadens grösser sei als die des Stempels, aber ohne dabei zuzugestehen, dass die an den beiden Basen der Wassersäulen befindlichen Molecüle eine radiale Bewegung zeigen. Und da die erste dieser beiden Hypothesen sich ohne weiteres als falsch ergiebt, so ist man eben gezwungen a priori anzunehmen, nicht nur dass die Geschwindigkeit des Axialfadens grösser ist als die des Stempels, d. h. als die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wassersäule, sondern auch dass die Molecülen an dem Ende dieser letzteren, auf welches die bewegende Kraft wirkt und welches man kurz mit dem Namen Druckbasis bezeichnen kann, eine centripetale Radialbewegung haben, eine centrifugale aber an dem entgegengesetzten Ende, welches wir Saugbasis der Wassersäule nennen wollen.

Wenn man nun nachweisen kann, dass eine derartige Erscheinung an den beiden Basen der Wassersäule stattfindet, so wird damit die Art und Weise ihrer Bewegung gegeben sein und zugleich bewiesen, dass einerseits in der That der Druck, welchen die einzelnen in ihrer Gesammtheit die Wassersäule ausmachenden Conaxialschichten senkrecht zu ihrer Stromrichtung ausüben, um so grösser ist, je weiter sie von der Axe der Röhre entfernt sind; andererseits aber der Druck an der Peri-

pherie der Druckbasis grösser ist als in ihrem Mittelpunkt, dagegen im Mittelpunkt der Saugbasis grösser als an der Peripherie derselben. Mit anderen Worten, man wird dann annehmen müssen, dass eine in einer Röhre fortbewegte Säule von irgend welchem Fluidum den grössten Druck an der Peripherie der Druckbasis zeigt und den niedrigsten an der der Saugbasis: dass also ihre Vorwärtsbewegung nichts anderes ist als der Ausdruck einer ins Innere eintretenden Inversionsbewegung, welche dadurch zu Stande kommt, dass in der Zeiteinheit ebensoviel Molecüle von der Peripherie weg nach dem Centrum der Druckbasis hinein-, als vom Centrum der Saugbasis nach der Peripherie herausgedrängt werden.

Wird in einer einige Centimeter weiten Glasröhre bei senkrechter Stellung eine auf einem Stempel ruhende und mit Barlappsamen versehene cylindrische Wassersäule von mässiger Höhe in Bewegung gesetzt, so ist die Druckbasis die untere, wenn der Stempel hinaufgeht, die obere dagegen wenn derselbe heruntergeht, indem dann, abgesehen von der Schwere der Flüssigkeit, der atmosphärische Druck die treibende Kraft ist. In beiden Fällen zeigen sich folgende Erscheinungen.

Die Geschwindigkeit der Wassertheilchen ist in der Axe beinahe doppelt so gross als die Gesammtgeschwindigkeit der ganzen Säule; sie nimmt nach den Wänden zu ab, so dass die durch das Zusammenkommen mehrerer Barlappsamen entstehenden und längs der Wände fortrollenden rundlichen Körperchen eine um so grössere Schnelligkeit zeigen, je grösser ihr Volumen ist, d. h. je grösser die Zahl der Coaxialschichten ist, in welche sie hineinreichen, weil mit der Zahl derselben zugleich ihre mittlere Geschwindigkeit zunimmt. Es bewegen sich daher die kaum sichtbaren dicht an den Wänden befindlichen Barlappsamen nur äusserst langsam, so dass ihr Abstand von der Druckbasis allmälig sich verringert, bis sie von dieser selbst erreicht werden. In dem Augenblick aber, wo dies geschieht, sieht man dieselben sich sofort von den Wänden losmachen, indem sie von einem centripetalen Wirbel ergriffen werden, welcher an dieser Basis stattfindet und die Barlappsamen rings herum nach der Axe hin fortreisst. Sie durchlaufen nun mit der grössten Ge-

schwindigkeit die ganze Länge der Säule bis zur Saugbasis, und gerathen hier in einen centrifugalen Wirbel, der sie wiederum nach den Wänden hin wirft; und indem die Körperchen dann dort bald wieder von der Druckbasis erreicht werden, wiederholt sich die ganze Erscheinung von neuem. Diese beiden gleich mit dem Beginn der Fortbewegung der Säule an den Basen derselben eintretenden Wirbel haben die Form eines mit der Spitze in die Wassersäule hineingerichteten Kegels, dessen Mantel durch Rotation einer gegen die Basis convexen Linie gebildet wird, und dessen Höhe in constantem Verhältnisse zum Radius der Röhre zu stehen scheint.

Ganz dieselben Erscheinungen zeigen sich nun, wenn anstatt die Wassersäule mit dem Stempel in Bewegung zu setzen, dieser festgehalten und die Röhre längs des Stempels und der Wassersäule bewegt wird; nur muss man dann natürlich, um den Centripetal- und den Centrifugalwirbel je an demselben Ende der Säule wieder zu erhalten, die Röhre in entgegengesetzter Richtung schieben als vorher den Stempel, weil sonst die Anordnung in der Druckvertheilung in der Säule die umgekehrte sein würde. Man erhält in dem vorigen Falle eine Inversionsbewegung der Wassersäule mit gleichzeitiger Translation, in dem letzteren eine blosse Inversionsbewegung; aber in beiden bleibt die Geschwindigkeit in einer und derselben irgend beliebigen Conaxialschicht in Beziehung auf die Basen der Säule constant, obgleich in dem ersteren die mittlere absolute Geschwindigkeit der Wassertheilchen die doppelte ist. Würde man nun gleichzeitig und mit gleicher Geschwindigkeit, aber in entgegengesetzter Richtung sowohl Stempel als Röhre schieben, so würde demgemäss die mittlere absolute Geschwindigkeit der Wassertheilchen verdreifacht werden, während natürlich eine blosse Translation ohne Inversion stattfindet, wenn Röhre und Stempel gleichzeitig in derselben Richtung mit gleicher Geschwindigkeit bewegt werden.

Diese Inversion, vermöge deren die Geschwindigkeit in der Axe der Säule, wie schon gesagt, fast doppelt so gross ist als die des Stempels oder der Röhre, liefert nun den Beweis, dass in der That in den verschiedenen concentrischen Kreisen eines

und desselben Querschnittes der Wassersäule kein Gleichgewicht des Druckes vorhanden ist. Es steht das offenbar damit in Zusammenhang, dass jedes Fluidum die Eigenschaft zeigt, sich beim Contact mit anderen flüssigen oder mit festen Körpern in einer Schicht zu verdichten, deren Dicke je nach der Natur der beiden Körper verschieden ist. Gegen den von dem Stempel oder von der Röhre ausgeübten Druck reagiren die einzelnen Conaxialschichten um so mehr, je geringer ihr Abstand von den Wanden ist, d. h. je mehr die einzelnen Wassertheilchen bestrebt sind, in der zu einem bestimmten Punkt der Wand einmal eingenommenen Lage zu verharren; und dadurch entsteht jene Störung des Gleichgewichts, welche ihrerseits wieder die unmittelbare Ursache von der Bewegung der Flüssigkeit ist. Färbt man von der in einer Röhre befindlichen Wassersäule den die Axe umgebenden Theil auf irgend welche Weise und bewegt dann den Stempel gleichviel in welcher Richtung, so tritt bald nachher eine vollständige Transposition der gefärbten Fäden an die Stelle der farblosen ein, der Art dass die Säule dann aus einem kleinen farblosen Cylinder in der Mitte und einem denselben umgebenden gefärbten äusseren Mantel besteht. Und in analoger Weise zeigt eine aus zwei über einander befindlichen verschiedenfarbigen Schichten von gleichem specifischen Gewicht gebildete flüssige Säule eine Transposition der oberen an die Stelle der unteren und umgekehrt, indem die unmittelbar vom Stempeldruck getroffene Schicht sich einen Durchgang durch die Axe der anderen bahnt.

Alle diese Thatsachen scheinen die Lösung einer Frage an die Hand zu geben, welche die Hydrauliker beschäftigt, seitdem man die Unrichtigkeit von der Theorie der Alten erkannt hat, die für alle Wasserfäden in einer Leitungsröhre die gleiche Geschwindigkeit annahm. Es handelt sich nämlich darum festzustellen, ob der Widerstand, welcher bei der Fortbewegung der Flüssigkeit zu überwinden ist, nur aus der Cohäsion zwischen ihren Molecülen sowie aus der Adhäsion derselben an den Wänden zu erklären ist, oder auch noch aus einer an den Röhrenwänden stattfindenden Reibung, wie Darcy es annimmt und mit ihm die grosse Mehrzahl der Hydrauliker. Mit anderen

Worten: ist die Translation der flüssigen Säule ausschliesslich die Folge ihrer Inversionsbewegung oder wird sie durch ein Zusammentreffen derselben mit einer Fortbewegung der Säule als solcher bewirkt? Die Erfahrung, meinen wir, scheint für ersteres zu sprechen, indem sie zeigt dass die einzelnen unmittelbar an den Wänden befindlichen Molecüle sich nur insoweit von denselben losmachen, als sie nach der Axe hin ausweichen, wenn der Stempel die von ihnen innegehabte Stelle einnimmt, um sich dann wiederum nach der Wand hinzuwenden, in deren Contact sie nun von neuem unbeweglich bleiben bis der Stempel auch hierhin gelangt. Wenn es sich so verhält, so würde jede gleitende Reibung ausgeschlossen sein und man müsste dann annehmen, dass die Rohrenwände der Bewegung der Flüssigkeiten keinen anderen Widerstand entgegensetzen als den, welcher einer rollenden Reibung entspricht; dass also die flüssige Säule in der Röhre eine durch das Verhältniss ihrer Translation zu ihrer Länge bestimmte Zahl von Inversionen erfährt (73).

Wie es sich auch mit dieser Frage verhalten mag, die übrigens erst nach einer ganz genauen Analyse der Geschwindigkeitscurve der Flüssigkeiten in Röhren sich lösen lassen wird, für uns ist jetzt nur noch eine Erscheinung von Interesse, welche sich jedesmal zeigt, wenn man plötzlich mit der Bewegung des Stempels oder der Röhre einhält, und die ebensosehr von der allmäligen Druckverringerung von der Röhrenwand her nach der Axe hin, als von der so bedeutend grösseren Geschwindigkeit bedingt wird, welche die Axialfaden in Vergleich zu den an den Wänden befindlichen Flüssigkeitsschichten besitzen. In Folge der lebendigen Kraft, welche die Wassertheilchen in der Axe erlangt haben, und in Folge des Trägheitsgesetzes hört dann nämlich die Inversionsbewegung der Flüssigkeit nicht auf, sondern modificirt sich nur, indem die von dem Centrifugalwirbel nach den Wänden der Röhre hin geworfenen Axialmolecülen sich dort nun zurückwenden gegen die mit geringerer Geschwindigkeit vorgerückten Wassertheilchen, welche dadurch in ihrem Laufe plötzlich gehemmt und bei ihrer geringeren lebendigen Kraft auch noch genöthigt werden nach dem Centripetalwirbel

zurückzuweichen. Und seinerseits übt der Centripetalwirbel, dem plötzlich der Zufluss von den Wänden entzogen wird, auf die diesen zunächst liegenden Conaxialschichten eine anziehende Wirkung aus, welche danach ihre Bewegung in die umgekehrte zu verwandeln strebt. So kommt es, dass in dem Augenblick, in welchem die Bewegung des Stempels oder der Röhre aufhört, die flüssige Säule sich in zwei Theile spaltet, in einen inneren Cylinder, der die Vorwärtsbewegung mit nach der Axe hin zunehmender Geschwindigkeit beibehält, und in einen äusseren Mantel, welcher die entgegengesetzte Bewegung annimmt. Bei diesem letzteren findet sich die Maximalgeschwindigkeit in derjenigen Conaxialschicht, welche von der Röhrenwand ebensoweit entfernt ist als von einer auf der Grenze zwischen den entgegengesetzten Strömungen befindlichen unbewegten Moleculenschicht. Und da die mittlere Geschwindigkeit der Wasserfäden um so grösser ist, wenn die Inversion der Säule durch die gleichzeitige in entgegengesetzter Richtung stattfindende Bewegung von Röhre und Stempel bewirkt wird, so ist es begreiflich, dass das Beharrungsvermögen der Wassertheilchen in diesen Fällen mit um so grösserem Erfolge bestrebt sein wird, diese nachträgliche Inversion der flüssigen Säule aufrecht zu erhalten.

Diese Erscheinung ist nun von der grössten Wichtigkeit für den Mechanismus der halbmondförmigen Klappen, zu welchen wir endlich zurückkehren. Die zwei Arterienstämme, an deren Ostien dieselben sich befinden, lassen sich in der That als Röhren mit elastischen Wänden ansehen, in denen das aus der Kammer abwechselnd und stossweise geschleuderte Blut jedesmal ein Wachsen an Länge verursacht, welches sich in eine Translationsbewegung der Arterie selbst auflöst und zwar in der Art dass ihre Richtung der des einströmenden Blutes entgegengesetzt ist [1]. Man muss desshalb annehmen, dass das plötzliche Aufhören der Systole in den zu jenen Gefässen zugeströmten Blutsäulen eine sofortige Scheidung in zwei der Richtung nach entgegengesetzte durch einen heftigen Centripetalwirbel untereinander verbundene Strömungen hervorruft, nämlich in eine axiale, die wir die *rechtläufige* nennen wollen, und

in eine längs der Wände nach den Valsalva'schen Sinus hin laufende, die rückläufige.

Es ist offenbar, welchen Einfluss ein an der Wurzel der Arterienstämme innerhalb der Valsalva'schen Sinus eintretender Centripetalwirbel auf die Semilunarklappen ausüben muss. Und man darf nicht glauben, dass wenn vielleicht unterhalb derselben in der Kammer etwas Blut zurückbleiben sollte, dieses einer plötzlichen Bewegung der Klappen in der zu ihrer breiten Fläche senkrechten Richtung hinderlich in den Weg treten könnte; denn die Spaltung der Blutsäule, welche in der Arterienröhre stattfindet, würde in jenem Falle natürlich ganz in gleicher Weise auch in der Kammer, beziehentlich in dem Conus arteriosus eintreten müssen. Und wenn nun auch der untere Axialstrom sich mit dem oberen vereinigt und mit ihm einen einzigen rechtläufigen bildet, welcher die Noduli Arantii auseinander zu halten bestrebt ist, also dem die concave Oberfläche der Klappen treffenden Centripetalwirbel gewissermassen entgegenwirkt, so wird doch wieder dieser scheinbare Nachtheil völlig dadurch ausgeglichen, dass andererseits der obere und der untere rückläufige Strom sich in dem Bestreben vereinigen, die Klappen hinunter gegen die Kammer zu drängen.

Wir waren somit zu der Ueberzeugung gekommen, dass die Zertheilung in zwei der Richtung nach entgegengesetzte Strömungen, welche der systolische todte Punkt augenblicklich in den in die Arterienstämme gelangten Blutsäulen hervorruft, im Stande ist eine sofortige an und für sich freilich nur ganz vorübergehende Schliessung der halbmondförmigen Klappen zu bewirken, welche aber dann dadurch zu einer für die Dauer der unmittelbar darauffolgenden Diastole permanenten wird, dass zugleich mit dem Eintreten derselben in Folge von dem plötzlichen Sinken des Blutdruckes in der Kammer die Klappen sich nach derselben hin wölben und ausspannen. Wir müssen in dieser Hinsicht noch hinzufügen, dass die eigenthümliche Gestalt der an den beiden Enden einer Wassersäule sich zeigenden Wirbel sehr an dasjenige Profil der von einer kleinen darüber befindlichen Wassersäule geschlossenen Klappen erinnert, welches durch die von der Axe des Sinusquerschnittes und

dem Winkel des Maximaldreiecks gegebene Ebene bestimmt ist [7].

So wurden wir auf hauptsächlichlich theoretischem Wege dazu geführt, bei dem Schliessungsmechanismus der Ostia arteriosa eine Unterscheidung zu machen zwischen einer mit dem todten Punkte der Systole gleichzeitigen *systolischen*, und einer mit dem Eintreten der Diastole zusammenfallenden *diastolischen Schliessung*. Die erstere wird durch eine mässige Ausdehnung der Klappen charakterisirt, welche dem in der Ebene des Sinusquerschnittes stattfindenden Zusammentreten ihrer freien Ränder entspricht; die letztere durch eine sehr bedeutende Ausdehnung der sich parallel mit der Axe des Sinusquerschnittes in der Richtung nach der Kammer bewegenden Klappen.

In Betreff des Einflusses, welchen die Systole während ihrer Dauer auf die Halbmondklappen ausübt, schien uns ohne weiteres dieselbe Erscheinung Geltung zu haben, welche sich in jeder Erweiterung der Wasserleitungen zeigt und besonders in den mit einer kugelförmigen Ausbuchtung versehenen cylindrischen Röhren. Die in den Strom gebrachten Barlappsamen lassen in diesem Fall, wie bekannt, eine die Kugel diametral durchziehende Ader erkennen, welche hier von einem ringförmigen Wirbel umgeben ist, dessen Wassertheilchen sich in den von der Röhrenaxe bestimmten Ebenen bewegen, und zwar in der Art, dass sie auf der Seite der Ader die gleiche Richtung wie diese verfolgen, an der Kugelwand aber die entgegengesetzte. In den Valsalva'schen Sinus, welche eben eine zwischen dem Conus arteriosus und der Arterienröhre befindliche Ausbuchtung der Blutbahn darstellen, musste dieser an den äusseren concaven Flächen der Klappen entlang gehende Centripetalwirbel offenbar jenem Anlegen derselben an die Sinuswände entgegenstehen, welches übrigens schon durch den angegebenen Unterschied zwischen der Länge ihrer freien Ränder und derjenigen der Sinusprofile völlig verhindert wurde.

Um nun uns für die Wirkung dieser Wirbel einen Beweis zu verschaffen, wurde in einem längs der Axe spaltförmig durchbohrten Korkpfropfen ein kurzes Glasröhrchen von ebenfalls spaltförmigem Querschnitt eingezwängt, so dass das eine Ende

desselben etwa $0^m,005$ aus dem Pfropfen hervorstand. Auf den beiden sich gegenüberstehenden abgeplatteten Wandflächen dieses Endes wurden mit Chloroform zwei dünne rechteckige Kautschuklamellen angeklebt, welche über den Rand des Röhrchens hinausragten und dasselbe jedesmal ziemlich vollständig schliessen konnten, wenn sie aneinander gedrängt wurden. Darauf wurde der Pfropfen in eine weite Glasröhre eingeschoben und wasserdicht innerhalb derselben fixirt, und in dieser ein Wasserstrom bewerkstelligt, welcher durch das abgeplattete Röhrchen hindurchgehend, bei dem mit den künstlichen Klappen versehenen Ende desselben heraustrat. Das Resultat dieses Versuchs war im höchsten Grade zufriedenstellend, denn jeder jähen Unterbrechung des Wasserstromes entsprach in der That eine plötzliche gegenseitige Annäherungsbewegung der beiden Lamellen, welche sogar bisweilen nicht bloss schnell vorüber gehend war, indem die äussersten Ränder während einer messbaren Zeitdauer in Contact miteinander blieben.

Wollten wir nun vermittelst des unter Fig. I dargestellten Apparates (dadurch, dass wir in die normal ausgedehnte Pulmonararterie ein dem von der Herzkammer bei der Zusammenziehung herausgetriebenen Blutquantum entsprechendes Wasserquantum injicirten, und dabei in dieser Arterie eine solche Drucksteigerung herstellten, wie sie physiologisch während der Systole stattfindet) den Beweis führen, dass die Schliessung des Ostium arteriosum in dem zwischen dem Aufhören der Systole und dem Eintreten der Diastole inneliegenden Moment zu Stande kommt, d. h. dass dieselbe mit dem systolischen todten Punkt synchronisch ist; und wollten wir dabei den Mechanismus dieser systolischen vorübergehenden Klappenschliessung scharf von dem der diastolischen oder permanenten gesondert beobachten, so war es natürlich unsere nächste Aufgabe, uns gegen die störende Wirkung von den Nachschwingungen der Wassersäule im Apparate sicherzustellen. Denn hätte man die Abflachung der Kuppelmembran einfach mit der Hand bewerkstelligt, so wäre das Wasser vermöge der erhaltenen lebendigen Kraft offenbar in *D* bis zu einem höheren Niveau gestiegen als dem berechneten, indem es die Membran noch weiter in einer Wölbung unter die

Ebene des Gefässrandes herabgezogen hatte, und es würde dann durch das in Folge sowohl der eigenen Schwere des Wassers als der Reaction der elastischen Membran gleich darauf eintretende Zurückweichen der Säule eine sofortige Annäherung der freien Klappenränder aneinander bewirkt worden sein.

Um diesen Uebelstand zu vermeiden und zugleich die Elasticität der Membran zu schonen, schien es uns am zweckmässigsten die Abflachung derselben vermittelst einer sehr schweren Platte dauernd zu erhalten, welche sich an den ganzen Umfang des Gefässrandes anschloss, wie wir zu diesem Zweck z. B. eine Bleiplatte anwandten. Sollte dann die Systole nachgeahmt werden, so musste man zuerst dieselbe jedesmal so langsam in die Höhe heben, dass der ganz allmälig fortschreitenden Wölbung der Membran entsprechend nur eine ganz unbedeutende Strömung im Apparat hervorgerufen wurde, welche kaum im Stande war die Halbmondklappen aus ihrer Gleichgewichtslage zu bringen. Hatten nun dieselben wieder diese Lage eingenommen, so trat die Systole ein, wenn man die Platte losliess, so dass sie, mit der von der Differenz zwischen ihrem eigenen Gewicht und dem von der Wassersäule in entgegengesetzter Richtung ausgeübten Druck abhängenden Geschwindigkeit herabfallend, die Abflachung der Membran in einem Zeitraum von etwa einer halben Secunde bewirkte, der also der Dauer der Kammersystole ziemlich gleich kam. Um aber die Möglichkeit vollständig zu beseitigen, dass in Folge von der Trägheit der Wassersäule ein Luftraum zwischen der Membran und der Platte entstand, sobald diese auf den Gefässrand aufgestossen war, wurde jene mit Chloroform benetzt, welches dadurch, dass es eine dünne Schicht des Kautschuks auflöste, einen hinreichend zähen Lack bildete um jeden Luftzutritt zu verhindern.

Wie gesagt, stand das Niveau des Wassers im Gefäss *D* 0,m36 über der Ebene des oberen Randes vom Gefässe *A*; es hatte daher jeder Quadratcentimeter der Membranoberfläche einen Druck von ungefähr [illegible] Atmosphäre oder 0,k036 auszuhalten. Da nun die ganze Oberfläche der Kautschukmembran 130 Qcm. betrug, so liess sich ihr Druck nach oben dadurch aufheben, dass sie mit einem Gewicht von [illegible] beschwert wurde.

Unsere Bleiplatte, welche das doppelte Gewicht hatte, konnte desshalb sehr leicht den Widerstand überwinden, welcher sich der Fortbewegung der Wassersäule durch eine mehrfach gebogene und hin und wieder sich verengernde Röhre entgegensetzte. Bei dem Herabfallen wurde die Platte immer noch mit beiden Händen gehalten, sowohl um sie nicht aus der horizontalen Lage kommen zu lassen, als auch um ihr Zurückspringen zu verhindern, wenn sie auf den Gefässrand aufstiess. Um es endlich zu vermeiden, dass das von der fallenden Platte mit Gewalt in die Höhe getriebene Wasser über sein Niveau im Gefäss *D* in einem Strahl emporsprudelte, wurde in demselben ein möglichst breiter Korkschwimmer angebracht, welcher nun die auf- und absteigende Bewegung des Wassers regulirte.

Es war allerdings hierbei die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass bei dem Vorhandensein von nachgiebigen Wänden unterhalb der Klappen, wie es die des Conus arteriosus sind, durch Nachschwingungen der Wassersäule eine Regurgitation durch die Klappen hindurch eintrat. Aber in Folge der sehr beträchtlichen Dicke der Conuswände und ihrer durch die Todesstarre noch vermehrten Stärke durfte man das Mass dieses Zurückströmens als so überaus gering annehmen, dass wir dasselbe gar nicht weiter in Erwägung gezogen hätten, wenn nicht einige der Herren, welche unsere Versuche mit Theilnahme verfolgten, die Vermuthung ausgesprochen hätten, es möchte vielleicht eine etwaige scheinbar systolische Klappenschliessung in Wirklichkeit der Elasticität der Conuswände zuzuschreiben sein.

Dieser Einwurf wird indessen der Thatsache gegenüber hinfällig, dass wenn man die Wölbung der Kautschukmembran dadurch verhindert, dass man die Platte auf dem Gefässrand befestigt, und dann in der Druckröhre *C* einen Stempel von oben nach unten zu schieben versucht, man zwar den Bulbus der Arterie und die Sinus Valsalvae sich sehr bedeutend ausdehnen sieht, der Conus arteriosus jedoch sich kaum merkbar erweitert, und die durch das Speculum beobachteten Klappen nur ein Vibriren um ihre Sehnenlage zum Sinusbogen erkennen lassen, welches weniger von dem Regurgitiren der Flüssigkeit durch das Ostium arteriosum hervorgerufen wird, als von der Spannung,

in welche sie durch die übermässige Ausdehnung der Arterienwände versetzt werden. Was ferner die Nachgiebigkeit dieser letzteren betrifft, so ist es klar, dass die von ihr zugelassenen Wasserschwingungen, eben weil der Conus arteriosus nicht daran theilnimmt, niemals von einem Auf- und Niederschwanken der Flüssigkeit durch die Klappen hindurch begleitet sein können. In der That, wenn man den Arterienbulbus mit den Fingern theilweise oder völlig zusammendrückt und ihn dann plötzlich dem Druckstoss der darüberstehenden Wassersäule überlässt, so zeigen die Klappen nur ein ganz langsames und unregelmässiges Schwanken inmitten der Flüssigkeit, deren Oscillationen sich gar nicht bis unterhalb der Klappenwurzeln fortpflanzen.

Die zur Beseitigung der störenden Wirkung der Wasserschwingungen angewandten Massregeln lassen indessen erkennen, wie unumgänglich nothwendig es war mit dem isolirten Arterienstamm zu experimentiren; denn hätten wir unterhalb der Klappen die ganze elastische und nachgiebige Wand des Herzcavum gelassen, so würden offenbar die Resultate unserer Versuche keinen grösseren Werth beanspruchen können als die von Rüdinger, deren Ergebniss der Hauptsache nach doch gerade dieses war, dass bei der Diastole ein Zurückströmen von der Arterie nach der Kammer hin eintreten musste. Das Nichtvorhandensein eines Conus arteriosus bei der linken Kammer, wo eine der Cuspidalklappen mit den anstossenden festen Rändern zweier Halbmondklappen zusammengewachsen ist, macht daher jede Untersuchung in Betreff des Mechanismus der Aortenklappen unmöglich; und andererseits, wie könnte man eine schnelle Systole des schon unter dem Drucke einer 0,200 hohen Quecksilbersäule ausgedehnten linken Herzens nachahmen, ohne dass dabei die dünnen und schwachen Vorhofswände platzen? Denn diese enthalten ja beim lebenden Organismus das Blut unter einem Drucke, welcher beständig dem atmosphärischen sehr nahe bleibt und in der Regel sogar negativ ist. Die Identität sowohl der Gleichgewichtslage der Klappen als der Gestalt und der Dimensionen der Sinus Valsalvae von beiden Arterienstämmen bietet aber, wie wir schon sagten, eine Garantie dafür, dass der Klappen-

mechanismus, wie er von uns bei der Pulmonararterie beobachtet worden ist, auch für die Aorta volle Geltung hat.

Wir wenden uns schliesslich zu den von den Klappen während der Systole, während des todten Punktes und der Diastole dargebotenen Erscheinungen, welche wir indessen nur ganz kurz zu beschreiben brauchen, da die Resultate unserer zehn Versuche den oben besprochenen Voraussetzungen vortrefflich entsprachen.

Beim ersten Eindringen des systolischen Stromes erweitert sich die Pars bulbosa derart, dass ihr Durchmesser ungefähr 1/[illegible] grösser wird; die Wände der Valsalva'schen Sinus leisten zwar einen grösseren Widerstand, sie lassen aber doch ebenfalls sehr deutlich eine Erweiterung mit Ausdehnung der Klappenmembranen erkennen, deren freien Ränder im ersten Augenblick geradlinig werden, selbst dann wenn das Ostium arteriosum ganz ausgesprochen eine sternförmige Gestalt zeigt. Die Klappe des vorderen Sinus indessen weicht wirklich nach der Sinuswand hin zurück, es ist dies jedoch als eine besondere Eigenthümlichkeit von ihr anzusehen und wird dadurch erklärlich, dass sie in Folge der Neigung des Sinusquerschnittes zur Axe des Conus arteriosus der Einwirkung des Stromes am meisten ausgesetzt ist; sie erreicht auch niemals die Sinuswand selbst, sondern bleibt schwingend in jener Lage stehen, in welcher ihr Nodulus Arantii ungefähr gleichweit von der Sinuswand und von der entsprechenden Minimaldreieckseite entfernt ist. Die Seitenklappen dagegen weichen nicht über ihre Sehnenlage zur Sinusausbuchtung zurück, sondern verharren schwingend in derselben. Diese Vibration der drei Klappen, bei welcher sogar manchmal die Umrisse der freien Ränder zu verschwimmen schienen, beweist nun unserer Meinung nach eine thatsächliche Mitwirkung der Semilunarklappen beim Hervorbringen des langen oder systolischen Herztones; es wird indessen wohl niemandem entgehen, wie sehr das Verhalten dieser Klappen bei der Systole demjenigen entspricht, das schon Hamberger hypothetisch aufgestellt hatte.

Dem plötzlichen Aufhören der Systole, in dem Augenblick, wo man das Aufstossen der fallenden Bleiplatte auf den Gefäss-

rand vernahm, entsprach in der That jedesmal ohne Ausnahme eine blitzschnelle in der Ebene des Sinusquerschnittes stattfindende gegenseitige Annäherungsbewegung der freien Klappenränder, auf welche dann unmittelbar das Zurückkehren derselben in die Gleichgewichtslage folgte; es war so zu sagen eine Zuckung der Klappen, welche sich dadurch kundgab, dass der in Folge der Undurchsichtigkeit der Conuswände sonst ganz dunkle von den freien Rändern begrenzte mittlere Theil des Beobachtungsfeldes plötzlich und momentan erhellt wurde. Dass unter allen Verhältnissen diese systolische Schliessung des Ostium arteriosum eine vollständige war, können wir zwar nicht behaupten, denn in zwei Fällen von Dreiecksform desselben (wo indessen zur Ausdehnung der Arterie eine 0,40 bis 0,50 hohe Wassersäule angewandt wurde) war es trotz des überaus schnellen Vorübergehens der Erscheinung möglich, eine zwischen den Noduli Arantii zurückgebliebene Oeffnung wahrzunehmen, welche in dem hell aufleuchtenden Feld der sich zusammenschliessenden Klappenränder als ein schwarzer Punkt hervortrat, der kaum grösser war als ein Stecknadelkopf; sie wird aber unzweifelhaft beim lebenden Organismus immer eine vollständige sein, da hier, wie gesagt, der Centripetalwirbel nicht allein durch das plötzliche Stillstehen der Blutsäule bewirkt wird, sondern auch durch das plötzliche Aufhören der bei der Kammersystole stattfindenden Verlängerung der Arterienstämme.

Eben dieser Umstand macht es uns vielmehr gewiss, dass die systolische Schliessung des Ostium arteriosum im Leben noch schneller stattfindet als es in unserem Apparate der Fall war. Thatsächlich konnte man, wenn in die Arterie in der Zeiteinheit immer kleinere Wasservolumina injicirt wurden, d. h. wenn man die Bleiplatte von immer geringerer Höhe herabfallen liess, die Energie der Klappenzuckung derart abstufen, dass die zwischen den freien Rändern im Augenblicke ihrer grössten Annäherung noch zurückbleibende Oeffnung immer grösser war. Dieselbe konnte hierbei anfangs, wenn auch nur schwer, doch schon als dreieckförmig erkannt werden, sie zeigte aber weiterhin um so deutlicher eine sternförmige Gestalt, je grösser das Verhältniss des von den Klappen ihrer Ausdehnung entgegen-

gesetzten Widerstandes zu der Kraft des Centripetalwirbels wurde. Und da nun dieser Widerstand um so kleiner ist, je deutlicher die ursprüngliche Gestalt des Ostium arteriosum als sternförmig hervortritt, so begreift es sich, wie in den uns vorgekommenen Fällen dieser Art die systolische Schliessung nach Injection eines geringeren Volumens zur Erscheinung gebracht werden konnte, als für die Schliessung des dreieckförmigen Ostium erforderlich war.

Ganz besonders lehrreich war in dieser Hinsicht unser erster Versuch, der mit einem Herzen angestellt wurde, bei welchem die in der Gleichgewichtslage in ausgesprochenerer Weise ein sternförmiges Ostium bildenden Klappen sich während des todten Punktes vorübergehend schon nach Injection von nur 20 Ccm. vollkommen schlossen. Hier trat nämlich eine systolische Klappenschliessung von messbarer Dauer ein, welche sich bis zu 6″ erstreckte, so oft ein grösseres Quantum injicirt wurde, da der Centripetalwirbel, welcher bei dreieckförmigem Ostium nur einen sanften Contact der äussersten Klappenränder herbeizuführen vermochte, in diesem Falle im Stande war, das Zusammenschliessen der ganzen Lunulae, d. h. also eines Theiles der convexen Klappenflächen zu bewirken. Das Zurückkehren in die Gleichgewichtslage, bei welchem nun die Adhäsion dieser Theile noch überwunden werden musste, konnte daher nicht so augenblicklich wie sonst vor sich gehen, sondern erst dann wenn eine punktförmige Oeffnung, welche sich zwischen den Noduli Arantii unmittelbar nach der Schliessung bildete, allmälig bis zur Form eines Dreiecks angewachsen war, dessen Seite etwa 0,^{m}003 betrug.

Wenn auch die systolische Schliessung durch eine in der Ebene des Ostium arteriosum stattfindende Bewegung der Klappen geschieht, so beweist doch die Schnelligkeit ihres Zurückkehrens in die Gleichgewichtslage, dass jene nicht ohne eine bedeutende Ausdehnung der Klappenmembran zu Stande kommen kann. Es ist desshalb kein Zweifel, dass das Eintreten des kurzen oder zweiten Herztones als synchronisch mit dem systolischen todten Punkt anzusehen ist, d. h. also dass der diastolische Herzton schon mit dem Aufhören der Systole seinen Anfang

nimmt und durch das darauf folgende Eintreten der Diastole nur eine Verstärkung erfährt. Sicher ist, dass wenn man den Finger auf die Pars sinuosa der Arterie legt, eine sehr energische mit dem Aufschlagen der Platte auf den Gefässrand zusammenfallende Vibration mit dem Gefühl wahrgenommen wird, und ebenso dass das an die Rüdinger'sche Röhre angelegte Ohr in demselben Zeitpunkte einen hinreichend deutlichen Ton vernimmt. Es scheint uns somit der Beweis für die Richtigkeit der am Ende des vorigen Kapitels ausgesprochenen Behauptung geliefert zu sein, dass die vom Eintreten des zweiten oder kurzen bis zu dem des ersten oder langen Herztones verfliessende Zeit das genaue Mass für die ganze Dauer der Diastole darstellt, nicht bloss für einen grösseren oder kleineren Theil derselben, wie dies bei jener Theorie angenommen wird, welche die Schliessung der halbmondförmigen Klappen einem Zurückströmen des Blutes zuschreibt.

Die Diastole wurde bei unserem Apparate dadurch nachgeahmt, dass die Platte unmittelbar nach ihrem Auffallen auf das Gefäss in die Höhe gehoben wurde. Die durch den Centripetalwirbel bereits geschlossenen, beim ersten Eintreten der Diastole aber heftig nach dem Conus arteriosus hin zurückgedrückten Klappen liessen hierbei die drei Punkte, in welchen die freien Ränder je zweier sich vereinigen, auswendig dadurch erkennen, dass an diesen Stellen die Arterienwände einzusinken schienen, indem sie hier durch den in entgegengesetzter Richtung ausgeübten Zug der sich ausspannenden Klappen verhindert wurden sich in demselben Masse wie an dem übrigen Umfang des Sinusquerschnittes auszudehnen. Wir haben diesen Umstand benutzt, um vermittelst des Zirkels das Verhältniss der Maximaldreieckseite zu der des Minimaldreiecks festzustellen. Das Zurückgedrängtwerden der Klappen nach der Kammer ist von einem Geräusch begleitet, welches dem kurzen oder zweiten Herzton gleich ist und eine hinreichende Stärke hat, um nicht bloss in unmittelbarster Nähe der Rüdinger'schen Röhre wahrgenommen werden zu können.

Während der diastolischen Schliessung stellen die zusammengeschlossenen Klappenränder die Seiten eines Tetragons dar, welches auf dem Minimaldreieck als Basis construirt ist, und dessen von den zusammenfallenden Noduli Arantii gebildete Spitze in der Axe des Sinusquerschnittes liegt. Wird nun während man die Noduli durch das Speculum fixirt, eine ganz allmälige Systole dadurch nachgeahmt, dass man mit dem Finger sanft auf die elastische Membran drückt, so sieht man wie die Höhe des Tetragons allmälig abnimmt, indem die Spitze mehr und mehr sich der Basis nähert. Inzwischen vermindert sich auch der Unterschied in den Höhen des Druckes, welchem das Wasser in der Arterie und in dem Conus arteriosus ausgesetzt ist; aber das Oeffnen des Ostium, welches sonst eigentlich in dem Augenblick eintreten müsste, wo die Kraft der Klappenelasticität schon nur um ein Minimum grosser ist als der jenem Unterschiede entsprechende Widerstand, — d. h. jedenfalls bevor die freien Ränder die Ebene des Ostium arteriosum erreicht haben, — findet in Folge von der Adhäsion der Klappenränder in Wirklichkeit nur erst später statt, und zwar in den Fällen von ganz ausgesprochen sternförmigem Ostium, wo dieselbe, wie gesagt, den gegenseitigen Contact länger bestehen lässt, jedesmal sogar oberhalb jener Ebene.

Wir wollen zum Schluss noch erwähnen, dass grosse Wahrscheinlichkeit für eine in ihrem Mechanismus der systolischen Schliessung des Ostium arteriosum ganz analoge diastolische Schliessung des Ostium venosum vorhanden ist. Strömt das Blut während der Diastole zum Herzen in Form eines Strahles, welcher sich in der den wenigsten Widerstand bietenden Axe des Cavum hält, so wird in dem in der Nähe der erschlaffenden Wände befindlichen, deren Bewegung vom Mittelpunkt weg nachfolgenden Blute eine von der Spitze nach der Basis gerichtete Strömung hervorgerufen, welche durch das Ostium venosum hindurchgehend dessen Klappen zu schliessen bestrebt ist. In der That, wenn man Wasser in ein schon angefülltes Gefäss giesst, so wird dasjenige, welches überfliesst, von der Reflexion geliefert, welche die längs der Axe zufliessende

Wasserader bei ihrem Auftreffen auf den Boden nach den Wänden hin erfahrt. Es kommt hierbei aber auch noch dies in Betracht, dass die während der Systole durch eine Bewegung nach der in Ruhe verbleibenden Herzspitze hin verkürzten Kammerwände, indem sie dann während der Diastole durch eine entgegengesetzte Bewegung sich verlängern, den anliegenden Blutschichten einen Impuls in derselben Richtung mittheilen, welcher mit dazu beiträgt, im Herzcavum während des diastolischen todten Punktes, wo die Erschlaffung der Atria eintritt, einen Wirbel zu erhalten, dessen Wirkung offenbar darin besteht, dass das Blut an den Wänden in der Richtung von der Spitze nach der Basis hin fortgerissen wird, in der entgegengesetzten aber das um die Axe herum befindliche. Es ist wohl ferner nicht unwahrscheinlich, dass jene Blutschicht, welche sich im Contact mit den Papillarmuskeln verdichtet, wenn diese von den dieselben während der Systole einschliessenden Kammerwänden wieder freigegeben werden, bei dem plötzlichen Stehenbleiben jener Muskeln sich im diastolischen todten Punkte in Folge der Trägheit längs der Chordae tendineae projicirt, auf diesem Wege die Ränder der Cuspidalklappen erreicht, und sie dann mit sich nach der Ebene des Ostium venosum hin fortnimmt wodurch also wiederum zur praesystolischen Schliessung dieser Klappen beigetragen werden würde.

Es wird also nicht übertrieben scheinen, wenn man sagt, dass die Herzklappen in ihrer Function das Ideal von Vollkommenheit erreichen. Bei den Pumpen wendet man eine Feder an, oder benutzt die Schwere der Klappen um das Gleichgewicht in der Schliessungslage zu erhalten, welches trotz des dabei zu überwindenden Widerstandes doch eine Vermehrung der Leistungsfähigkeit ermöglicht; beim Herzen dagegen ist den Klappen das Gleichgewicht in der Oeffnungslage zuertheilt; zugleich aber sind in jeder Hinsicht die angemessensten Einrichtungen getroffen um diesen scheinbaren Nachtheil in einen wesentlichen Vortheil zu verwandeln, indem durch die Form, die Anordnung, das geringe Volumen, die grosse Nachgiebigkeit und Elasticität der Klappen, sowie dadurch, dass ihr specifisches Gewicht dem des Blutes gleichkommt, denselben die Fähigkeit

gegeben wird bei der Schliessung die von den Hydraulikern ganz unberücksichtigt gelassene wirkungsvolle Kraft der Wirbel auszunutzen, in welche der durch das Ostium hindurchgehende Strom nothwendigerweise sich zertheilen muss.

Anmerkungen.

1) Vesalius. *De corporis humani fabrica Lib. VII*, Basileae, 1543. Lib. VI, C. XV, p. 597.

2) Haller. *Elem. physiol.* Vol. I, lib. IV, S. V, § 18, 19. Lausannae, 1757.

3) Vieussens. *Traité nouveau de la structure et des causes du mouvement naturel du coeur.* Toulouse, 1715. Chap. XI. p. 76, 77.

4) Baron. *An dum contrahitur cor dilatentur arteriae coronariae.* Parisiis 1741. — Haller. *Disput. anatom. select.* Vol. II. Gottingae 1747, p. 441.

5) Nicolai. *De directione vasorum.* Argentorati, 1725. Ibidem, p. 481.

6) Thebesius. *Dissert. med. inaug. de circulo sanguinis in corde.* § 24, 25. Lugd. Batav. 1708, apud Elzevir.

7) Lancisi. *De motu cordis et aneurysmatibus.* Romae, 1728. Lib. I, prop. XLI. Der Verfasser wagt in dieser Hinsicht folgenden Schluss: »Illud »certe probabile mihi admodum videtur naturam ad humanam socie»tatem firmius validiusque conglutinandam longe frequentius in homi»nibus quam in caeteris animalibus situm ac aream orificiorum coro»nariarum arteriarum variavisse. Voluit enim alios magis alios minus »corde robustos, ut alii ad imperandum, alii ad parendum«.

8) Morgagni. *Ant. M. Valsalvae opera omnia recensuit suasque epistolas addidit duodeviginti.* Venetiis 1740. Vol. II. p. 78 sq.

9) Senac. *Traité de la structure du coeur.* 2me ed. Vol. II. Paris 1749. Lib. IV, Chap. III. p. 56.

10) Haller. *Dissertatio de vasis cordis propriis.* Gottingae 1737. *Disput. anatom.* Vol. II, p. 361.

11) Haller. *Iteratae de vasis cordis observationes.* Gottingae 1739. Ibidem, p. 381. — S. auch *Elem. physiol.* lib. IV, S. III, § 30. »Ego quidem »constanter et abunde eam originem altiorem, sive a corde remotio»rem reperio, quam sinus est valvulae anterioris et posterioris, in quo »sinu alii Cl. viri eas arterias ajunt oriri. Plurimis nunc experimentis »haec confirmata habeo, ut eo confidentius et veram hanc legem et »perpetuam esse statuam.«

(12) Haller. *Elem. Physiol.* Lib. IV, s. III. § 30. »In eo vero Cl. virorum »error est, quod ruborem cum pallore alternum in carne cordis posuerint, qui in cavea est.« S. ausserdem Senac, *Traité de la structure du coeur.* Lib. IV, chap. III, p. 29. und. Kürschner, Art. *Herzthätigkeit*, in Wagner's Handwörterbuch der Physiologie, II. Bd. 1844.

(13) Heutzutage sind die Histologen nicht in Uebereinstimmung über das Vorhandensein von Muskelfasern im Gewebe der Semilunarklappen. Wie wir sehen werden, ist es sicher dass die physiologische Thätigkeit dieser Klappen sich noch beim Leichnam vollständig nachweisen lässt.

(14) Hamberger. *Physiologia medica, seu de actionibus corporis humani sani doctrina, etc.* Jenae, 1751, § 161, p. 59 sq.

(15) Sömmerring. *Gefässlehre, oder vom Herzen, von den Arterien, Venen und Saugadern.* 2te Aufl. Frankfurt a. M. 1801. S. 139.

(16) Legallois. Art. *Anat. et Physiol. du coeur* im *Diction. des sciences méd.* T. V. S. 417; abgedruckt in den *Oeuvres de Cesar Legallois* T. I. Paris 1830. p. 314.

(17) Meckel. *Handbuch der menschlichen Anatomie.* III Bd. 1817. S. 74

(18) Choulant. Art. *Herzarterien* in *Pierer's u. Choulant's Anatomisch-physiologischem Realwörterbuch.* IV. Bd. Leipzig 1821. S. 49.

(19) Lauth. *Neues Handbuch der praktischen Anatomie.* Stuttg. u. Leipzig. II. Bd. 1836. S. 115.

(20) Cruveilhier. *Anatomie descriptive* III. Bd. p. 62. Paris 1834.

(21) Lud. Joseph. *De anatomia cordis, imprimis ratione habita quattuor ejus annulorum.* Dissert. inaug. Vratislaviae 1857. p. 17.

(22) Aus dem Engl. von Dr. Levin. Leipzig 1843.

(23) Kleefeld. *De arteriarum coronariarum cordis pulsu.* Dissert. inaug. Berolini 1849. — Ein kurzer Auszug davon in *Virchow's Archiv* 23. Bd 1862. S. 190.

(24) Es scheint dass in diesem Sinne die folgenden Worte Kleefeld's verstanden werden müssen. »Ich will kein allzugrosses Gewicht legen »auf die Beobachtung, dass der Blutstrahl aus der angestochenen »Arterie sich immer während der Systole verlängerte, denn da das »Herz selbst in Bewegung war, so könnte man einwenden, dass mehr »durch diese Bewegung, als durch den Druck der Blutwelle bei der »Systole, diese Erscheinung hervorgebracht worden sei.«

(25) Brücke. *Physiologische Bemerkungen über die arteriae coronariae cordis.* Sitzb. der k. Akad. der Wiss. zu Wien, math.-naturwiss. Cl. Bd. XIV, 1854, S. 345.

(26) Hyrtl. *Beweis dass die Ursprünge der Coronar-Arterien während der Systole der Kammer von den Semilunarklappen nicht bedeckt werden u. s. w.* Ebenda, S. 373. — Wir brauchen kaum zu sagen, dass wir keineswegs beabsichtigen uns an dem leidigen Streite zu betheiligen, welchen Hyrtl mit dieser Abhandlung angefangen hat. Brücke's Verdienste um die Wissenschaft sind ja zu gross und zu

unbestreitbar, als dass irgend jemand, selbst Hyrtl nicht, im Stande wäre dieselben in Abrede zu stellen, und wir hegen für Brücke als einen der bedeutendsten und productivsten Physiologen die Hochachtung, wie sie der Lehrling dem Meister schuldig ist, wie sehr auch in diesem Falle unsere Ansicht von der seinigen abweichen mag. Wir würden es um so mehr bedauern, wenn wir in den Verdacht geriethen die masslosen Angriffe von Hyrtl billigen zu wollen, als wir bei der Behandlung der Frage der Selbststeuerung des Herzens danach gestrebt haben, nicht minder unparteiisch zu erscheinen als es zu sein. Hyrtl gegenüber erlauben wir uns an die Worte jenes grossen Naturforschers, Lucretius, zu erinnern: »Nil dulcius est, bene »quam munita tenere edita doctrina sapientum templa serena, . . . »certare ingenio, contendere nobilitate.«

(27) Brücke, *Der Verschluss der Kranzschlagadern durch die Aortenklappen.* Wien 1855. S. 16.

(28) Ebenda, S. 19.

(29) Ebenda, S. 5.

(30) Henle (*Handbuch der syst. Anat. d. Menschen.* III. Bd. 1. Abth. S. 87, Braunschweig 1868) macht die Bemerkung, dass diese Vertiefungen oder Runzeln der Aortenwände auch schräg und vertical, und überhaupt ganz unregelmässig vorkommen.

(31) Hyrtl, *Ueber die Selbststeuerung des Herzens, ein Beitrag zur Mechanik d. Aortenklappen.* Wien, 1855, S. 50 ff.

(32) Ebenda, S. 8.

(33) Ebenda, S. 54.

(34) Hyrtl, *Lehrbuch d. topographischen Anatomie.* 3te Aufl. Wien 1857. S. 480.

(35) Burdach, *Dritter Bericht von der k. anatomischen Anstalt zu Königsberg mit Bemerkungen über den Mechanismus der Herzklappen.* Leipzig, 1820. S. 45.

(36) Endemann, *Beitrag zur Mechanik d. Kreislaufs im Herzen.* Dissertation. Marburg, 1856.

(37) Neuerlich hat auch Bojanowski (*Die Blutzufuhr der Kranzarterien zum Herzen.* Deutsche Klinik 1861, Nr. 26. S. 254) nach ziemlich zahlreichen Beobachtungen die grosse Unbeständigkeit in der Lage des Ausgangspunktes der einen oder auch beider Kranzarterien in den Valsalva'schen Sinus erkannt.

(38) Wittich, *Ueber die Verschliessbarkeit der Oeffnungen der Kranzarterien durch die Semilunar-Klappen.* Allg. Med. Central-Ztg., 1857, Januar. Nr. 5.

(39) Ludwig, *Lehrbuch der Physiologie des Menschen.* 2te Aufl. II. Bd. S. 129. Leipzig, 1861.

(40) Rüdinger, *Ein Beitrag zur Mechanik der Aorten- und Herzklappen.* Erlangen 1859.

(41) Budge. *Lehrbuch d. speciellen Physiologie d. Menschen.* Leipzig 1862, S. 268. Siehe auch die Untersuchungen von Bojanowski *Deutsche klin.* 1861. S. 251).

(42) Perls. *Sitzungs-Berichte des Vereins f. wissenschaftliche Heilkunde zu Königsberg i. Pr.* Sitzung vom 18. Dec. 1866 (*Berl. klin. Wochenschrift* 1867, Nr. 1).

(43) Fick. *Compendium d. Physiol. d. Menschen.* 2. Hälfte, S. 260. Wien 1860.

(44) Hermann. *Grundriss d. Physiol. d. Menschen.* 2. Aufl. S. 54. Berlin 1867.

(45) Fick. *Die Geschwindigkeitscurve in der Arterie des lebenden Menschen.* Untersuch. aus dem Züricher physiol. Laboratorium, I. Heft S. 51. Wien 1869. — Mit den Resultaten dieser Untersuchungen stimmen nach Fick (*Verhandlungen der physikal. med. Gesellschaft in Würzburg.* 1871) die Berechnungen überein, welche sich anstellen lassen, wenn man die Anzahl der Herzschläge, das Quantum des in der Zeiteinheit aufgenommenen Sauerstoffs und der abgegebenen Kohlensäure, sowie den Sauerstoff- und Kohlensäuregehalt einer von dem Thiere während der Versuchszeit genommenen Probe arteriellen und venösen Blutes zu Grunde legt.

(46) Ludwig u. Sczelkow. *Zur Lehre vom Gasumtausch in verschiedenen Organen.* Sitzbr. d. K. Ak. d. Wiss. zu Wien, math.-naturwiss. Cl. 45. Bd. II. Abth. 1862. S. 171.

(47) Ludwig u. Sadler. *Ueber den Blutstrom in den ruhenden verkürzten und ermüdeten Muskeln.* Ber. d. math.-phys. Cl. d. k. Sächs. Gesellsch. d. Wiss. 1869. S. 189.

(48) Lannelongue. *Recherches sur la circulation des parois du coeur.* Archives de Physiologie normale et pathologique. T. I. 1868. p. 22–34.

(49) Donders. *Physiologie d. Menschen, übersetzt v. Theile.* I Bd. Leipzig 1859. S. 42.

(50) Albini. *Guida teorico-pratica allo studio della fisiologia.* Napoli, 1862, p. 70.

(51) Oehl. *Manuale di fisiologia,* vol. II, p. 60. Milano, 1868.

(52) Bouillaud. *Die Krankheiten des Herzens.* Aus dem Franz. von Dr. A F. Becker. I. Bd. Leipzig 1836. S. 68.

(53) Rüdinger. *Ein Beitrag zur Mechanik der Aorten- und Herzklappen.* Erlangen 1859.

(54) Joseph. *Die Physiologie der Herzklappen.* Virchow's Arch. XVIII. Bd. 1860, S. 495.

(55) Mierswa. *Ueber den Mechanismus der Semilunarklappen.* Deutsche Klinik, 1859, Nr. 19. S. 198.

(56) Hamernjk. *Ueber den Mechanismus nach welchem die Klappen des Herzens geschlossen werden,* u. s. w. Prager Vierteljahrschrift 1847, IV. Bd. S. 146—1848, IV. Bd. S. 105.

(57) Baumgarten. *Commentatio de mechanismo, quo valvulae venosae cordis clauduntur.* Dissert. inaug. Marburgi, 1843. Wir behalten uns vor

anderswo zu zeigen, dass die von *Baumgarten* mit Herzen von Leichen erhaltenen Resultate nicht dazu angewandt werden können die Erscheinungen der physiologischen Activität dieses Organs zu erklären.

(58) Beim Citiren dieses Aufsatzes von HAMERNJK drückt sich DONDERS (*Physiologie* 1859. I. Bd. S. 43) so aus: »Sobald der Druck, welchen »das Herz auf die Valvulae semilunares ausübt, geringer wird als der »Druck des Blutes in der Aorta und in den Sinus Valsalvae, füllen sich »die Taschen und drängen gegen einander. Verharrt die Kammer »nach dem Austreiben des Blutes noch einen Augenblick in der Systole, »so wird beim Geschlossensein dieser Klappen nicht leicht Blut in die »Kammern zurück können.« Wir gestehen, dass wir nicht im Stande sind einzusehen, wie das von DONDERS principiell angenommene Zurückströmen des Blutes durch einfaches Verharren des Ventrikels in der Systole verhindert werden kann.

(59) MAREY *Physiologie méd. de la circulation du sang.* Paris 1863. p. 38. Unter einem vielversprechenden Titel bringt dieses Buch eine einfache in populäre Form gekleidete Abhandlung über Sphygmographie, die sehr viele Irrthümer und Ungenauigkeiten jeder Art enthält.

(60) NEGA *Beiträge zur Kenntniss der Funktion der Atrioventricularklappen des Herzens, die Entstehung der Töne, u. s. w.* Breslau, 1852.

(61) HYRTL *Lehrbuch der Anatomie des Menschen*, 10te Aufl. Wien 1867.

(62) TRAUBE. *Ueber die Herz- und Arterientöne in Krankheiten.* Gesammelte Beiträge zur Pathologie und Physiologie. II. Bd. I. Abth. Berlin 1871. S. 447.

(63) Vgl. IX. Bd. (*Bau der Pumpen und Spritzen.* Leipzig 1871, S. 248–251, 258 ff.) der *Uhland'schen technischen Bibliothek.*

(64) In einer Arbeit über die Pulsationsperiode des Herzens, mit der wir uns gegenwärtig beschäftigen, werden wir die Resultate einer langen Reihe vielfältiger Versuche mittheilen, welche wir ebenso in dem physiologischen Institut zu Leipzig angestellt haben, und welche nicht allein die Unberechenbarkeit der todten Punkte der Herzpumpe beweisen, sondern auch die Unzulässigkeit jener Theorie, welche dem Herzen Zeittheilchen von gleichzeitiger Systole oder Diastole seiner beiden Abschnitte zuschreibt.

(65) Die normale Lage des Ductus arteriosus (oder des durch seine Obliteration beim ausgewachsenen Organismus entstehenden Ligaments) ist, wie bekannt, eine solche, welche ihm gestattet auf die leichteste und natürlichste Weise den Uebergang von dem Bogen der Pulmonalarterie zu dem Aortenbogen zu bilden; er liegt nämlich schräg aber ohne Zerrung zwischen den beiden Arterienstämmen, indem er das von der Pulmonaris ausgehende Ende dem Herzen zuwendet. Werden nun die beiden Gefässe auf die angegebene Weise injicirt, so nimmt der Ductus jene normale Lage erst dann ein, wenn die Aortenwände einen achtmal grösseren Druck erleiden als die Wände der Pulmonaris

Bei einem mit dem herausgenommenen Herzen eines grossen Hundes angestellten Versuche hatten wir den Stumpf beider Arterienstämme unterbunden, die rechte sowohl wie linke Herzhöhle je mit einem Quecksilbermanometer verbunden, und darauf die letztere mit der Aorta unter einem Druck von 0,m130 mit Wasser injicirt. Als dann auch das rechte Cavum injicirt wurde, nahm der Ductus arteriosus seine normale Lage ein und es erreichte die Pulmonaris dem Anschein nach den gleichen Durchmesser wie die Aorta, als der Manometer einen Druck von 0,m046 anzeigte. Bei weiterer Injection der Pulmonararterie erhielt bald der Ductus die Querlage zwischen beiden Gefässen, welche aber schliesslich bei dem Druck von 0,m028, also fast dem Viertel des in der Aorta vorhandenen, in die ihrer Richtung nach der normalen entgegengesetzte schräge Lage überging, so dass jetzt das mit der Aorta zusammenhängende Ende dem Herzen zugekehrt wurde; zugleich war dann aber der Durchmesser der Pulmonaris augenscheinlich bedeutend grösser als der der Aorta.

Dass nun übrigens der Parallelismus der Arterienstämme, wenn man diesen Ausdruck gebrauchen darf, durch an und für sich geringe Veränderungen in dem gegenseitigen Verhältnisse der verschiedenen Druckhöhen in den beiden Gefässen eine Störung erleiden kann, das findet leicht seine Erklärung in der grossen Elasticität ihrer Wände. Die Pulmonararterie eines Schafes zeigte uns eine zur Steigerung des Druckes in ziemlich directem Verhältniss stehende Längenzunahme; während sie leer von der Wurzel bis zur Gabelung gerechnet 0,m05 lang war, erreichte sie bei ihrer successiv bewirkten Ausdehnung unter dem Drucke einer Wassersäule von 0,m35, 0,m70, 1,m05 Höhe eine Länge von bez. 0,m062, 0,m069, 0,m080.

Im Juni 1870 hatten wir unter Prof. Ludwig's Leitung und zwar nach seiner schon von Beutner (*Ueber die Strom- und Druckkräfte des Blutes in der Arteria pulmonalis.* Ztft. f. rat. Med. N. F. II. Bd. 1852 S. 95) beschriebenen Methode einige Versuche am Kaninchen angestellt, um das Verhältniss festzustellen, in welchem der Blutdruck in der Carotis zu dem in einem linken Aste der Pulmonalarterie steht, wobei aber dafür Sorge getragen war, dass nur ein einziger Lappen der entsprechenden Lunge undurchgängig gemacht wurde. Bei den drei am besten gelungenen Versuchen zeigte nun unmittelbar nach dem Oeffnen der Hähne der mit der Pulmonaris verbundene Manometer in zwei Fällen einen Druck = $1/7$, in dem dritten aber einen solchen = $1/8$ des von dem anderen mit der Aorta verbundenen Manometer angegebenen, welch letzterer bez. 0,m065, 0,m070 und 0,m068 Qk. betrug.

Wir wissen zwar wohl, dass auf Grund des bekannten Verhältnisses 3 : 1 zwischen der Dicke der Wände von der linken und der rechten Kammer allgemein angenommen wurde, dass das Blut in der Aorta

nur einem dreifach grösseren Drucke ausgesetzt ist als in der Pulmonaris, aber ist es denn ebenso auch bekannt, nach welchem Gesetz die Kraft, mit welcher Muskeln, die einen Hohlraum einschliessen, auf dessen Inhalt wirken, mit dem Grösserwerden ihres Querschnittes zunimmt? Es steht ja vielmehr gerade fest, dass beim Dampfkessel z. B. mit der Steigerung des auszuhaltenden Druckes die Wandstärke keineswegs in gleichem Verhältnisse zuzunehmen braucht. Es ist überdies nicht denkbar, dass der in den Lungenarterien und -Venen an und für sich dem Blutumlaufe sich entgegenstellende Widerstand 1/3 von demjenigen beträgt, welchen derselbe in den Gefässen der übrigen gesammten Organe zu überwinden hat.

66 Wir heben dies desswegen besonders hervor, weil VALSALVA so gut wie keine Kenntniss davon hatte, dass jene Sinus, welche in der Aorta von ihm ihren Namen erhalten haben, sich ebenso auch in der Pulmonalis vorfinden: »Hactenus descriptorum sinuum vix in arteria pulmonari vestigium video.« (*A. M. Valsalvae opera omnia* recensuit J. B. Morgagnus Vol. I. p. 130. Venetiis 1740.

67 RETZIUS, *Ueber den Mechanismus des Zuschliessens der halbmondförmigen Klappen.* Müller's Arch. 1843. S. 14.

68 LUDWIG, *Lehrbuch der Physiologie des Menschen.* II. Bd. 1861. S. 128. 129.

69 Die Benennung Valvulae sigmoideae rührt gerade von der Gestalt her, welche diese Lunulae den freien Klappenrändern geben.

70 DARCY, *Recherches expérimentales relatives au mouvement de l'eau dans les tuyaux.* Paris, 1857. Mémoires présentés par divers savants à l'Académie des sciences. T. XV.

71 LUDWIG und STEFAN, *Ueber den Druck den das fliessende Wasser senkrecht zu seiner Stromrichtung ausübt.* Sitzb. der math.-naturwiss. Cl. der k. Akad. der Wissenschaften zu Wien. XXXII. Bd. S. 25. 1858. — S. auch die 2te Ausgabe von LUDWIG's *Physiologie*, II. Bd., S. 57, 58.

72 FICK, *Die medicinische Physik.* Braunschweig 1866. S. 92. 93.

73 Es lässt sich dieses auf folgende Weise anschaulich machen. Um innerhalb einer Röhre eine cylindrische Stange von beträchtlich kleinerem Durchmesser luftdicht auf und ab bewegen zu können, denken wir uns einen Ring zwischen beide gebracht, welcher aus einem in sich zurückkehrenden elastischen und mit einer Flüssigkeit gefüllten Schlauch besteht. Wenn nun der innere Durchmesser des Ringes kleiner ist als derjenige der Stange und sein äusserer Durchmesser grösser als der der Röhre, in welcher sich die Stange bewegen soll, so wird offenbar der in den Raum zwischen beide eingezwängte, von der Stange ausgedehnte, von der Röhre aber zusammengedrückte Ring die Form eines Muffes annehmen, innerhalb dessen hohler gespannter Wand eine Flüssigkeit sich abgesperrt befindet. Es ist nun klar, dass dem Hin- und Zurücklaufen der Stange eine Umkehr dieses muffartigen Polsters in der einen und in der anderen Richtung ent-

sprechen wurde, d. h. eine Verwandlung der ursprunglichen inneren Wand in die aussere und dieser in jene. In der flüssigen in einer Rohre bewegten Saule entspricht nun der Axialfaden jener Stange, deren Durchmesser man sich ja bis auf Null verringert vorstellen kann, und an die Stelle jenes muffartigen Polsters treten hier die Conaxialschichten in ihrer Gesammtheit, deren Inversionsbewegung in dem einen oder dem anderen Sinne die von den Röhrenwänden sonst verursachte gleitende Reibung in eine rollende verwandelt.

74 Was die Resultate einiger von uns zur Constatirung der während der Systole eintretenden Verlangerung der Arterienstämme angestellten Versuche betrifft, so mussen wir uns hier darauf beschranken zu erwahnen, dass dieselbe beim Kaninchen so beträchtlich ist, dass die Spitze des ohne Oeffnung von Thorax und Pericardium beobachteten sich zusammenziehenden Herzens gar keine Translation zeigt. Analoge aber unzureichende und sich widersprechende Beobachtungen uber diesen Gegenstand sind auch von *Brucke*, *Bamberger* und *Kolliker*, *Chaureau* und *Faivre*, *Kornitzer*, *Berner*, *Geigel* u. A. mitgetheilt worden.

75 Sollte man vielleicht die Ursache hiervon in den Thatigkeitserscheinungen der Herzpumpe wahrend des embryonalen Lebensstadiums zu suchen haben?

Errata.

Seite 2	Z. 4	v. u.	statt	neque — contemnendi lies: neque contemnendi.
» 20	» 16	v. o.	»	schon dazu hinreicht lies: dazu hinreicht
» 35	» 5	v. u.	»	leichter ist das lies: leichter ist als das.
» 38	» 16	v. o.	»	0,03 lies: $0^{m}.03$
» 39	» 8	v. u.	»	Theile des Septum lies: Theile der Kammerwände, ebenso wie den hinteren Theil des Septum.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

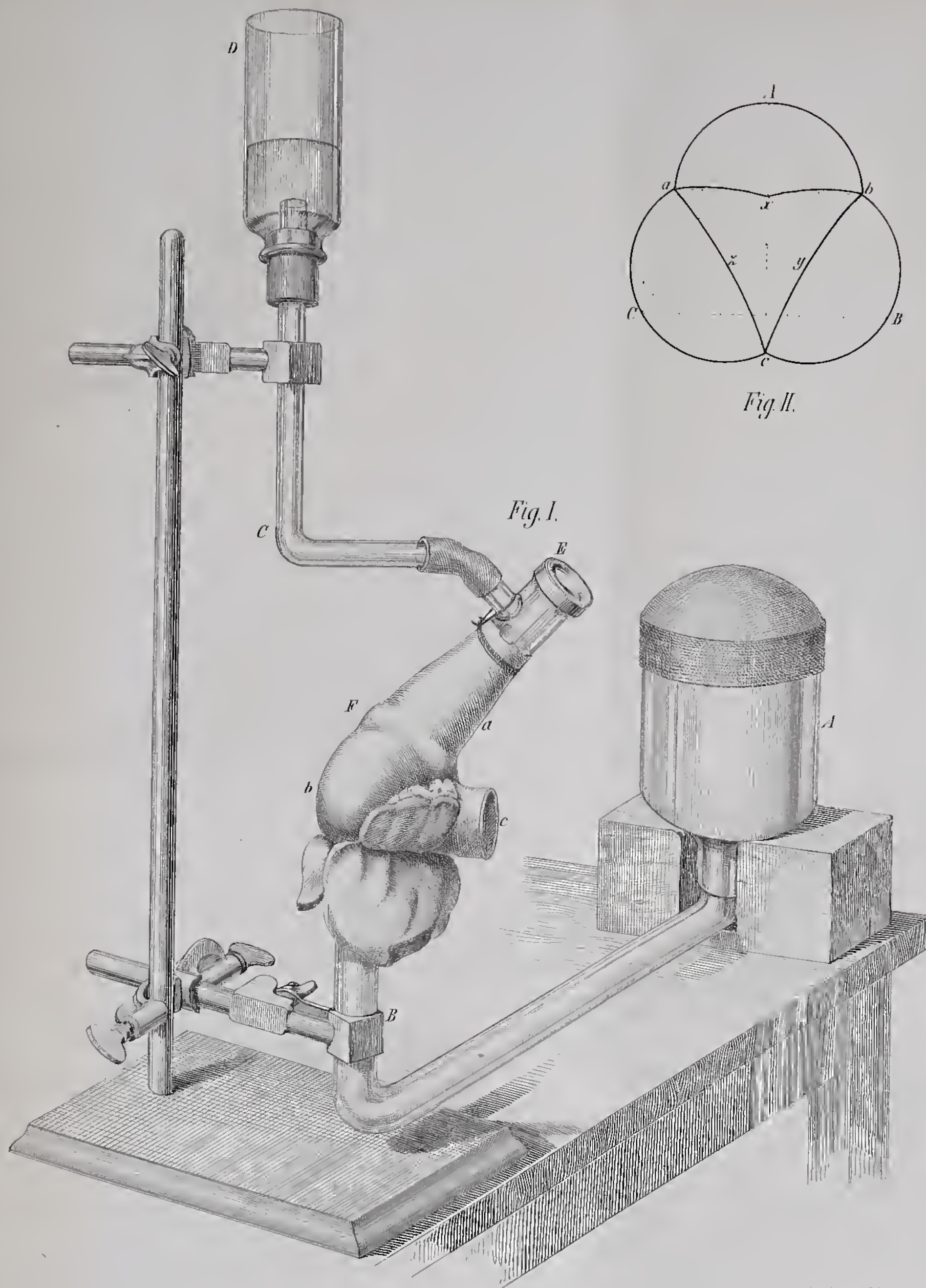


Fig. II.

Fig. I.

Lith. Anst. v. J. G. Bach, Leipzig